

***Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector***

**Analyse van de blootstelling aan trillingen tijdens werk in de groenvoorzieningen**

***Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations during work in the green area***

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2007-04





*Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector*

**Analyse van de blootstelling aan  
trillingen tijdens werk in de  
groenvoorzieningen**

*Analysis of the exposure to whole-body and  
hand-arm vibrations during work in the  
green area*

Huub H.E. Oude Vrielink<sup>1</sup>

Rapport 2007-04

---

<sup>1</sup> ErgoLab Research B.V.

# Colofon

**Over ErgoLab Research B.V.**

**‘Knowledge works better’**

ErgoLab Research is opgericht in 2006. ErgoLab Research is een klein bureau, gespecialiseerd in trillingsmetingen in voertuigen en aan handgereedschappen. Ook meten en beoordelen we werkbelastingen, en maken we een scherpe analyse van de arbeid op uw bedrijf. U krijgt exact in beeld waar en hoe op arbo en gezondheid winst te behalen valt. U kunt bij ons terecht voor een kort consult, voor snelle metingen, voor meer diepgaand onderzoek, maar ook voor een uitleg van de wetenschap in “gewone mensen taal”.

Bijzondere services van ErgoLab Research zijn GITHA als hulp bij het vaststellen van letselschade voor huishoudelijk werk en de uitgebreide lijst artikelen en rapporten over arbeidsomstandigheden in de landbouw en tuinbouw.

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

Op het gebied van trillingen heeft ErgoLab Research meer metingen uitgevoerd. Deze kunnen worden gedownload vanaf de website [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu). Bijvoorbeeld:

- Oude Vrieling, H.H.E., 2007. Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van motorkettingzagen
- 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 tijdens werk in de groenvoorzieningen
Auteur(s)	Huub H.E. Oude Vrieling
Rapport nummer	2007-04
ISBN-nummer	90-8585-156-4
Datum van publicatie	augustus 2007
Vertrouwelijkheid	-
Project code	6211001400
Prijs	Dit rapport is vrij beschikbaar via internet adres <a href="http://www.ergolabresearch.eu">www.ergolabresearch.eu</a>

ErgoLab Research B.V.  
Alexanderweg 56  
NL-6721 HH Bennekom  
Tel: +31 (0)6 140 242 10  
E-mail: [huub.oudevrieling@ergolabresearch.eu](mailto:huub.oudevrieling@ergolabresearch.eu)  
Internet: [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu)

© 2007 ErgoLab Research B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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 maaimachines, bladblazers, heggescharen en bosmaaiers in de praktijk van de groenvoorzieningen. Hierbij is tevens aandacht geschonken aan enkele door de chauffeur beïnvloedbare factoren met het oog op een mogelijke vermindering van de blootstelling.

Het onderzoek is mogelijk geworden door de medewerking van vele betrokkenen. Allereerst worden de vertegenwoordigers van de fabrikanten van Toro, Stihl en Husqvarna in Nederland bedankt voor hun bereidwillige medewerking aan het onderzoek en het zonder voorwaarden beschikbaar stellen van het materieel. De medewerkers van de gemeente Wageningen (Wim, Ricardo, Frans, Jan, Wout, Jaap, Metje, Adri en Rob) worden hartelijk bedankt voor hun medewerking als proefpersoon en organisator van de proeven. De heer Anton A.J. Looije (A&E Wageningen) wordt bedankt voor zijn assistentie tijdens de metingen. 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. Gijs G. van Leeuwen van het Ministerie van LNV, directie Landbouw, 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 values and limit values, for whole-body vibration (WBV) and hand-arm vibration (HAV) 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 (0.5 and 2.5  $\text{m/s}^2$  for WBV and HAV, respectively) is exceeded, organisational and/or technical measures are to be taken and health surveillance is to be organised, in order to limit or reduce the exposure. In case of exceeding the limit value (1.15 and 5  $\text{m/s}^2$ , for WBV and HAV), exposure should be brought back immediately to below this limit value. The maintenance of the green area, using mowing machines, hedge trimmers, leaf blowers, brush cutters or clearing saws is considered to be a set of working activities that need advice on how exposure to vibrations can be reduced. The present research aimed to make an estimation of the daily exposure to WBV and HAV when using modern green area machinery for the activities mentioned above during a normal working day action. In addition, it was investigated to which extent exposure can be influenced actively by the user and the management by comparing different brands of the equipment.

Exposure measurements were performed with a total of 8 experienced professional workers on five different tasks (mowing of sports fields, mowing of city green area, hedge trimming, leaf blowing, and cutting of long grass aside the road), organised such that each piece of equipment was tested by two workers during normal work in practice and each task consisted of a minimum of two machines. Vibration evaluation was performed according to ISO (2631-1, 1997, 2631-5, 2001 and 5349-1, 2001) on the seat (WBV) and at the steering wheel (HAV) for mowing machines, and at the handle or handles (HAV) for all hand-held equipment. Besides, vibrations of the chassis at the chair base were measured for the mowing machines, to determine the effectivity of damping (SEAT-value) of the chair implemented. Vibrations for each measurement site were sampled and evaluated in the 3 standard directions X (for-afterward), Y (sideward), and Z (vertical) for WBV ( $a_w$ ) and as vector sum  $a_{hv}$  for HAV. During the tests, vibration results were displayed on-line digitally on a laptop computer and were stored. Processing of the data and calculation of outcome variables were performed off-line. The effect of two different cutting utilities (head containing flexible cord, or metal blade) was measured separately when testing the brush cutters. The effect of two different kinds of pipe endings (straight or curved) was tested for one of the leaf blowers. For the interpretation of the vibration values measured into daily exposure values, normal working patterns were obtained by interview of the Netherlands organisation for employers in the green area (vhg).

For mowing of sports fields, whole body vibration values ranged between 0.41 and 0.50  $\text{m/s}^2$ , the vertical vibration being highest. The differences between both persons and machines were small. Mowing of city green area resulted in whole body vibration values of 0.61, 0.61 and 0.47  $\text{m/s}^2$  (median, for X-, Y-, and Z-direction, respectively). These data are based on a working pattern of 10% of the working time driving on paved city roads (in our case: merely asphalt) and 80% of the

time actually mowing. The action value for horizontal vibrations is exceeded after 4.6 tot 5.8 (median: 5.4) hours of work.

The trimming of hedges resulted into median vibration values  $a_{hv}$  of 4.47 m/s<sup>2</sup> and 3.27 m/s<sup>2</sup> for the front and rear handle, respectively. These data are based on a working pattern of 20% of the working time holding the machine running stationary and 60% of the time actually trimming. The action value was exceeded after 4.0 hours when operating the machine with the lowest vibration exposure.

During the measurements of the blowing of leaf, a large difference between both machines tested was found:  $a_{hv} = 1.4 - 5.0$  m/s<sup>2</sup> and  $1.8 - 3.6$  m/s<sup>2</sup> for operating the machine running stationary and while blowing leaf, respectively (data are median values for two subjects). These values resulted into a spread in daily vibration exposure between both machines of 1.8 to 3.7 m/s<sup>2</sup>, assuming a daily working pattern of 10% of the working time holding the machine running stationary and 80% of the time actually blowing leaf. Using the one machine did not result in exceeding the action value, while using the other this happened after 3.6 hours. No difference in exposure was found between straight and curved pipe ending usage.

During the use of brush cutters, higher vibration exposure values were found for all machines for the left hand (median  $a_{hv} = 4.50$  m/s<sup>2</sup>) compared to the right (median  $a_{hv} = 4.11$  m/s<sup>2</sup>). These data are based on a daily working pattern of 20% of the working time exposed to the machine running stationary and 60% of the time actually cutting the grass. When operating the lowest vibration emission machine, the action value was exceeded after 3.2 hours. No difference in exposure was found between both cutting utilities.

The following conclusions can be drawn; (1) During mowing of city green area, attention must be paid to reduction of whole body vibration in the horizontal plane. It is speculated that a more smooth driving behaviour and/or the mounting of a chair, containing damping mechanisms for vibrations in the for-afterward and sideward directions, in addition to the vertical axis, will reduce whole body vibration exposure. This has to be confirmed with additional measurements. (2) Exposure to hand-arm vibrations during trimming of hedges, blowing of leaf and handling of brush cutters appears too high: the action value is exceeded after maximally 3 to 4 hours of work, assuming daily working patterns obtained by interview. This was true for all machines except one: one machine for blowing of leaf could be handled for a full working day without exceeding the European norm. For the other working activities investigated, it is advised, in order to reduce exposure, to limit the working time per day and to reduce the handle grip time while the machine is running stationary.

*Keywords:* whole body vibration, WBV, hand-arm vibration, HAV, exposure reduction, green area maintenance, chair damping, ISO-5349-1, ISO-2631-1.



# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1    <b>Introductie</b></b>	<b>11</b>
<b>2    <b>Methode</b></b>	<b>15</b>
2.1    Personen	15
2.2    Machines, uitrusting en werktuigen	15
2.3    Metingen van werkzaamheden in de praktijk	17
2.3.1    Beschrijving van de werkzaamheden	17
2.3.2    Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden	18
2.4    Meetapparatuur en procedure	18
2.5    Dataverwerking en statistiek	21
2.5.1    Dataverwerking	21
2.5.2    Dataweergave en statistiek	24
<b>3    <b>Resultaten</b></b>	<b>25</b>
3.1    Maaien van sportvelden	25
3.2    Maaien van plantsoenen	26
3.3    Knippen van heggen	27
3.4    Blazen van blad	28
3.5    Maaien van gras en struiken met bosmaaier	29
<b>4    <b>Discussie</b></b>	<b>31</b>
4.1    Beperking van het huidige onderzoek	31
4.2    Lichaamstrillingen tijdens maaien van gras	32
4.3    Hand-arm trillingen tijdens hanteren van arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen	32
<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>35</b>
<b>Referenties</b>	<b>37</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>39</b>
<b>Bijlagen / annex</b>	<b>41</b>
Bijlage A: meetwaarden van blootstellingen per bewerking (Measurement values per working activity)	41



# 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/s<sup>2</sup> en 2.5 en 5 m/s<sup>2</sup>. 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, persoonlijke bescherming en hulpmiddelen, onderhoud van de arbeidsmiddelen, het geven van voorlichting en opleiding, of het beperken van de blootstellingstijd. 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. Daarbij mag er 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 worden aangeschaft moeten voldoen aan de blootstellingsbeperking via een lage trillingsemissie. Indien dat niet het geval is dient de blootstelling via organisatorische maatregelen te worden beperkt.

De wetgeving is bedoeld om gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan trillingen tijdens het werk te voorkomen. Sinds meerdere decennia is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van trillingen op het lichaam. Een overzicht van recente inzichten in gezondheidseffecten van hand-arm trillingen en lichaamstrillingen zijn in eerdere rapportages beschreven (Oude Vrielink, 2007a, Oude Vrielink, 2007b). In het navolgende worden de belangrijkste bevindingen kort samengevat.

Hand-arm trillingen kunnen resulteren in meerdere gezondheidsklachten van armen en handen, samen aangeduid als hand-arm trillingsyndroom (Chetter et al., 1997, Bovenzi, 1998, ISO-5349-1, 2001). Eén van de aandoeningen 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 met de trillingsblootstelling (Bovenzi *et al.*, 1995, Bovenzi, 1998, ISO-5349-1, 2001) en lijkt het gezondheidsrisico evenredig te zijn met de trillingsenergie, dus met de

duur en grootte van de blootstelling. Het meest schadelijke frequentiegebied lijkt tussen 8 en 1000 Hz te liggen. Het risico lijkt te worden vergroot door een koude omgeving, verhoogd krachtgebruik, door werken in extreme houdingen van de handen en armen en door roken. De ernst van de aandoening lijkt te verminderen indien de blootstelling vermindert. Een andere groep aandoeningen zijn verstoringen van de perifere zenuwgeleiding, zich uitend als gevoelloosheid en/of tintelingen in de vingers, pijn in vingers en handen en problemen met fijne bewegingen (Bovenzi, 1998, Chetter *et al.*, 1997). 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. 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). Een uitzondering vormen zware schokken welke directe schade aan pezen en gewrichten kunnen veroorzaken (ISO 5349-1, 2001).

Voor lichaamstrillingen is de conclusie op grond van meerdere epidemiologische studies dat er naar alle waarschijnlijkheid een verband bestaat tussen de blootstelling aan lichaamstrillingen en het optreden van rugpijn, schade aan de wervelkolom en/of tussenwervelschijven. Nog altijd is er onvoldoende hard bewijs is voor een dosis-effect relatie. Wel wordt aanbevolen de blootstelling aan lichaamstrillingen te reduceren tot het laagst mogelijke niveau (Lings and Leboeuf-Yde, 2000), mede omdat het trillingsgebied van veel rijdende voertuigen overeen komt met het resonantiegebied van het lichaam van de mens: 4-5 Hz (Pope and Novotny, 1993).

De EU (2002) en het Arbobesluit (Staatsblad 372, 2005), ondersteund door de ISO-richtlijn 2631-1 (ISO-2631-1, 1997) schrijven door middel van de eerder genoemde grenzen (actiewaarde en grenswaarde) een waarschuwingszone voor. Vanuit het gezondheidkundig perspectief mag de waarschuwingszone niet worden geïnterpreteerd als “enigszins of tijdelijk acceptabel”, omdat gezondheidsbescherming hierbinnen niet kan worden gegarandeerd (Griffin, 2004, CEN/Tr/15172-2, 2005 E). Blootstelling boven de grenswaarde moet altijd voorkómen worden, blootstelling boven de actiewaarde moet leiden tot actie: gebruik van machines of apparatuur met een lagere emissie van trillingen, beperking van de blootstellingstijd (de duur zowel als de frequentie van blootstelling), gebruik van persoonlijke bescherming, of andere maatregelen die leiden tot blootstelling onder de actiewaarde.

In een eerdere inventarisatie (Vink and Oude Vrielink, 2005), gedaan om een indruk te krijgen van de blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen tijdens werkzaamheden in de landbouw, bosbouw en groenvoorzieningen, zijn voor diverse bewerkingen waarden gevonden die boven de actiewaarde lagen. Onder andere werd het werken met maaimachines, heggescharen, bladblazers en bosmaaiers als een aandachtspunt voor nader onderzoek geïdentificeerd, ten dele omdat de omstandigheden die betrekking hadden op de gerapporteerde blootstellingen niet altijd voldoende waren beschreven of de gegevens betrekking hadden op oudere machines, en ten dele ook omdat er geen goede meetwaarden van de blootstellingen konden worden gevonden. Dit nader onderzoek hield specifieke metingen in, omdat alleen dan de blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen op een willekeurige werkdag voldoende nauwkeurig zou zijn in te schatten. Dit had en heeft deels te maken met de grote variatie aan machines en de keuze in trillingsemmissie-reducerende technische maatregelen die

hierin en hierop geïmplementeerd kunnen worden. Deels heeft het ook te maken met de vele invloedsfactoren die per werkmethode sterk kunnen verschillen. En 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.

Voor rijdende voertuigen wordt de blootstelling aan trillingen bepaald door een groot aantal factoren: massa van het voertuig en belading, ondergrond, rijsnelheid, bandentype, bandenspanning of –hardheid, demping van de assen, cabine en stoel, lichaamsgewicht en rijgedrag van de bestuurder. In eerdere rapportages (Oude Vrielink, 2007c, Oude Vrielink, 2007b) zijn deze factoren nader toegelicht op basis van de literatuur. Meerdere factoren komen samen in een taak en bepalen dan de blootstelling. Uit de genoemde onderzoeken werd duidelijk dat de ondergrond en de rijsnelheid de belangrijkste bepalende factoren zijn, binnen de beperking van de onderzochte taken. Voor gedragen arbeidsmiddelen wordt de blootstelling van de handen en armen bepaald door de machine zelf (incl. onderhoud), de afstand en demping tussen motor en handvatten en de hardheid van het bewerkte materiaal. Ook de kracht waarmee het arbeidsmiddel wordt of moet worden gehanteerd en de werktechniek zijn bepalend. In een eerder onderzoek naar de trillingsblootstelling bij het hanteren van motorkettingzagen bleek dat grote verschillen tussen arbeidsmiddelen gemeten werden, maar ook tussen personen die hetzelfde arbeidsmiddel hanteerden (Oude Vrielink, 2007a). Het laatste kan mogelijk worden toegeschreven aan de kracht waarmee het arbeidsmiddel wordt gehanteerd.

Het doel van het huidige onderzoek was door middel van metingen een schatting te geven van de normale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen bij het werken met verschillende moderne arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen in de praktijk. Concreet is onderzocht het maaien van sportvelden en plantsoenen, het maaien van berm en taluds, het knippen van heggen en het blazen van blad. Daarnaast was het doel van het onderzoek aan te geven of de blootstelling eventueel zou kunnen worden teruggebracht indien technisch geavanceerde machines zouden worden gebruikt.



## 2 Methode

Alle metingen zijn uitgevoerd met ervaren vaste medewerkers van de afdeling Beheer Openbare Ruimte van de gemeente Wageningen.

### 2.1 Personen

De metingen zijn uitgevoerd met in totaal acht professionele werkers, waarvan één vrouw, in de leeftijd variërend van 31 tot 63 jaar (mediaan: 46 jaar) en actief als medewerker en/of beheerder openbaar groen. De mediane ervaring met werk bedroeg 14 jaren (range: 2-30 jaren). Het werk werd 26 (mediaan; range: 10-30) weken per jaar in de periode maart tot december, afhankelijk van de taak, en gedurende 19 (mediaan; range: 6-40) uren per week: zie tabel 1. Tijdens piekperiodes werd 7 uren per dag gewerkt (mediaan; range: 5-8 uren). In totaal drie personen rapporteerden lichamelijke klachten in het voorbije jaar: één had zowel klachten van de schouders als lage rug, één rapporteerde uitsluitend klachten van de nek en de ander van de lage rug. Alle klachten hingen naar de mening van de medewerkers samen met het werk. De beide rugklachten en de schouderklacht speelden nog ten tijde van het onderzoek, maar hielden geen belemmering in voor de taakuitvoering. Alle personen namen vrijwillig deel aan het onderzoek en tekenden een vrijwilligheidsverklaring, nadat ze mondeling zowel als schriftelijk over de aard en inhoud van het onderzoek geïnformeerd waren.

*Tabel 1: Persoonskenmerken en werkervaring van de betrokken proefpersonen (n=8). Weergegeven zijn mediaan, minimum en maximum waarden van de betreffende variabele over de groep personen.*

	Leeftijd (jaren)	Lengte (cm)	Lichaams- gewicht (kg)	Ervaring groenwerk (jaren)	Uitvoering groenwerk (weken / jaar)	Uitvoering groenwerk (uren / week)
Mediaan:	46	183	80	14	26	19
Minimum:	31	168	63	2	10	6
Maximum:	63	188	93	30	30	40

### 2.2 Machines, uitrusting en werktuigen

Het onderzoek is uitgevoerd met vier motormaaiers, twee bladblazers, twee heggenscharen en vier bosmaaiers. Vertegenwoordigingen van de fabrikanten zijn van tevoren ingelicht over het onderzoek en gevraagd mee te werken via het adviseren in en eventueel beschikbaar stellen van machines. Omdat de gemeente Wageningen over twee moderne John Deere maaimachines beschikte werd deze set als basis gebruikt. Toro was bereid twee nieuwe, moderne en enigszins met de John Deere machines vergelijkbare machines, vrijwillig beschikbaar te stellen. Voor de overige arbeidsmiddelen zijn Stihl en Husqvarna gevraagd en bereid gevonden nieuw materieel uit te lenen ten behoeve van het onderzoek. Iedere fabrikant is gevraagd de meest moderne uitvoering van het arbeidsmiddel te leveren, met het oog op een zo klein mogelijke blootstelling aan trillingen. Enkele technische specificaties van de arbeidsmiddelen zijn weergegeven in de tabellen 2 (maaimachines) en 3 (heggenscharen, bladblazers en bosmaaiers). Bij één van beide

bladblazers (H) is tevens het eventuele verschillende effect op de trillingen tussen rechte en gebogen uitmondning van de blaaspijp onderzocht. Bladblazer G had alleen een gebogen uitmondning. Bij alle bosmaaiers is tevens het eventuele verschillende effect op de trillingen tussen draadkop en drietand zaag onderzocht.

Tabel 2: Kenmerken van de maaimachines betrokken in het onderzoek.

Kenmerk	Fabrikant type	Bouwjaar	Massa (met cabine) (kg)	Motortype en -vermogen (kW/pK)	Bandentype, maatvoering <sup>1</sup> , druk	Stoeltype	Stoeldemping, richting <sup>2</sup>
A	John Deere 1515 cirkelmaaier	2005	1750	4-cylinder diesel; 31 / 41.5 (2600 min <sup>-1</sup> )	Lucht Trelleborg 539 TL v: 26x12-12.8 1.3b a: 20x8-10 0.9b	Grammer Maximo XXL	Z: p X, Y: -
B	John Deere 1905 kooimaaier	2005	1960	4-cylinder diesel; 31 / 41.5 (2600 min <sup>-1</sup> )	Lucht Trelleborg 539 TL v: 26x12-12.4 1.8b a: 20x10-10.4 0.9b	Grammer Maximo XXL	Z: p X, Y: -
C	Toro Groundsmaster 4000-D cirkelmaaier	2006	±1850	4-cylinder diesel; 42 / 56 (2600 min <sup>-1</sup> )	Lucht R&R Multi-Trac v: 26x12-12 1.3b a: 20x10-10 0.9b	Grammer Maximo L	Z: p X, Y: -
D	Toro Reelmaster 4240-D kooimaaier	2006	1750	4-cylinder diesel; 35.8 / 48 (2600 min <sup>-1</sup> )	Lucht R&R Multi-Trac v: 26x12-12 1.8b a: 20x10-10 0.9b	Grammer DHS 85-90	Z: m X, Y: m

<sup>1</sup>: v=voorbanden; a=achterbanden; b=bar luchtdruk

<sup>2</sup>: m=mechanisch; p=pneumatisch; X,Y,Z: demping aanwezig in richting(en) conform definitie gegeven in ISO 2631-1 (1997)



Tabel 3: Kenmerken van de heggenscharen (E-F), bladblazers (G-H) en bosmaaiers (I-L) betrokken in het onderzoek.

Kenmerk	Fabrikant type	Bouwjaar	Massa (kg)	Motortype en -vermogen (kW)	Motorinhoud (cm <sup>3</sup> )	Indicatie trillingsemissie <sup>1</sup> (m/s <sup>2</sup> )	
						stationair	vol gas onbelast
E	Stihl HS 81T 750	2006	5.4	1-cylinder 0.7	22.7	1.5 – 1.6	
F	Husqvarna 325 HD75	2006	6.3	1-cylinder 0.7	24.5	2.3 – 3.2	2.5 – 3.1
G <sup>2</sup>	Stihl BR500	2006	9.9	1-cylinder -	64.8	1.4	
H <sup>3</sup>	Husqvarna 356 BT	2006	10.4	1-cylinder 2.4	51.7	1.3	4.2
I	Stihl FS 100	2006	5.8	1-cylinder 1.05	31.4	2.1 – 2.5	3.8 – 5.8
J	Stihl FS 480	2006	8.1	1-cylinder 2.2	48.7	1.5 – 2.1	1.9 – 2.6
K	Husqvarna 250 R	2006	9.2	1-cylinder 2.1	48.7	2.7 – 6.0	1.0 – 2.1
L	Husqvarna 345 R	2006	7.9	1-cylinder 2.0	45.0	3.7 – 4.7	0.8 – 1.9

<sup>1</sup>: volgens opgaven fabrikant, uitersten over linker en rechter hand (niet voor bladblazers), en (voor zover vermeld) over verschillende gemonteerde aanbouwgarnituren. Waar één getal is weergegeven is alleen de  $a_{hv,eq}$  vermeld, samengesteld uit stationaire meting en die tijdens vol gas draaien.

<sup>2</sup>: Uitsluitend gebogen uitmonding van de blaaspijp

<sup>3</sup>: Zowel rechte als gebogen uitmonding van de blaaspijp is getest

## 2.3 Metingen van werkzaamheden in de praktijk

### 2.3.1 Beschrijving van de werkzaamheden

Blootstellingen aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen zijn gemeten tijdens het rijden op verschillende maaimachines op twee locaties: de sportvelden van Sportpark De Zoom en de plantsoenen in de wijk De Nude, beide gelegen in Wageningen. De chauffeurs en machines legden alle eenzelfde traject af van 15 – 30 minuten. Uitsluitend hand-arm trillingen zijn gemeten bij het knippen van hekken. Hierbij zijn beide handen volgtijdig gemeten. Geknipt zijn buxus- en taxusheggen, tot ongeveer 1.30 m hoog op de Algemene Begraafplaats van de gemeente Wageningen. Per persoon en per machine werd 10-15 minuten gemeten. Voor het blazen van blad is dezelfde locatie gekozen. Steeds is de rechterhand gemeten. De duur van de meting per persoon en machine was 10-15 minuten. Tijdens het maaien van bermen en taluds met behulp

van een bosmaaier zijn beide handen gelijktijdig gemeten. Als locatie waren de bermen en taluds van het voetpad langs de Oordensteeg in de wijk Noord-West van de gemeente Wageningen gekozen. Ook hier werd steeds 10-15 minuten gemeten per persoon en machine.

### 2.3.2 Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden

Middels een inventarisatie in de Stuurgroep Economisch Beleid van de Vereniging voor Hoveniers en Groenvoorzieners (vhg) en waarneming tijdens de metingen is van de verschillende werkzaamheden een beeld verkregen van de werkduur per dag en de eventuele verdeling naar belastende (wat betreft trillingen) en niet-belastende werkonderdelen. De volgende tabel 4 geeft het resultaat van deze inventarisatie.

*Tabel 4: Inventarisatie van de tijdsduur (in uren en % van de totale werkdag) van de trillingsbelastende activiteiten bij het werken met verschillende aangedreven arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen.*

Werkzaamheid	Totaaltijd per dag (uren)	Trillingsbelastende activiteit	
		%	uren
Maaien sportvelden	8		
- daadwerkelijk maaien		90	7.2
Maaien plantsoenen	8		
- daadwerkelijk maaien		80	6.4
- aan- en afrijden op de weg		10	0.8
Knippen van heggen	8		
- daadwerkelijk knippen		60	4.8
- vasthouden stationair draaiende machine		20	1.6
Blazen van blad	8		
- daadwerkelijk blazen		80	6.4
- vasthouden stationair draaiende machine		10	0.8
Hanteren bosmaaier	8		
- daadwerkelijk maaien		60	4.8
- vasthouden stationair draaiende machine		20	1.6

Aangetekend moet worden dat alle genoemde werkzaamheden seizoensgebonden zijn, en niet het gehele jaar worden uitgevoerd. De huidige wetgeving gaat evenwel uit van een willekeurige werkdag en houdt geen rekening met een eventuele seizoensgebondenheid. Ook zullen in de praktijk kortere en langere werkdagen voorkomen. Bij de omrekening van de gemeten blootstellingen naar de geschatte dagblootstelling is voor de uitgevoerde taak aangenomen dat de totale werktijd 8 uur is, met trillingsbelastingen naar aard en duur volgens bovenstaande tabel.

## 2.4 Meetapparatuur en procedure

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-2631-1 (1997), ISO/DIS 2631-5 (ISO/DIS-2631-5, 2001), ISO-5349-1 (ISO-5349-1, 2001) en ISO-5349-2 (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 genoemde richtlijnen.

Bij de maaimachines werd bij iedere meting de trillingsblootstelling gemeten aan één hand aan het stuur zowel als op de zitting van de stoel. Bovendien werd de trillingsemissie van het chassis gemeten, zo dicht mogelijk bij de bevestiging van de stoelbasis. Alle trillingen werden gemeten in de voorgeschreven drie richtingen. Voor stoelzitting en stoelbasis betekende dit voor-achterwaarts (X), zijwaarts (Y) en verticaal (Z). Voor hand-arm trillingen is als X-richting gedefinieerd de as van handrug naar handpalm, als Y de as van pink- naar duimzijde en als Z de as van pols in de richting van de vingers. Van de andere arbeidsmiddelen werden alleen de trillingblootstelling van de handen en armen bepaald aan één handvat (bladblazers) of beide handvatten (heggenscharen en bosmaaiers).

Lichaamstrillingen werden op de zitting gemeten met behulp van een Bruel & Kjaer (B&K, DK) stoeltrillingsopnemer 4322 PE, welke bestaat uit een 3-richtingen trillingsopnemer gefixeerd in een rubber omhulsel. De opnemer werd met bouwtape op de zitting gefixeerd (zie figuur 1), zodanig dat de zitbeenderen van de bestuurder tijdens het rijden midden boven de trillingsopnemer waren gepositioneerd. Voor de meting van hand-arm trillingen aan het stuur is



*Figuur 1: illustratie bij de meting van lichaamstrillingen bij een maaimachine: montage van de opnemer voor lichaamstrillingen op de stoelzitting en de opnemer voor chassistrillingen aan de stoelbasis.*

een B&K aluminium handadapter (UA 0891; gewicht ongeveer 20 g) gebruikt, waarin drie versnellingsopnemers (B&K, 4374 L; gewicht per stuk ongeveer 0.7 g) waren gefixeerd. De handadapter werd tussen wijsvinger en middelvinger zódanig op handvat, stuur of stuurknobbel geklemd, dat deze hiermee voortdurend goed contact hield (figuur 2). Trillingen van het chassis werden in drie richtingen gemeten met behulp van een B&K opnemer 4321. De opnemer was gemonteerd op een stevige metalen bevestigingsstrook, welke in de juiste positie middels één van de bevestigingsbouten van de stoel aan de stoelbasis werd gefixeerd (zie figuur 1).

De signalen van alle opnemers werden via afgeschermdde kabels geleid naar drie versterkers (B&K, Nexus 2692). Hierin vond tevens basale signaalfiltering plaats voor lichaamstrillingen (high-pass 0.1 Hz, low-pass 100 Hz), hand-arm trillingen (high-pass 1 Hz, low-pass 1 kHz) en stoelbasis trillingen (high-pass 0.1 Hz, low-pass 1 kHz). Via een 16-bit A/D kaart (National Instruments, DAQ 6036E met BNC 2090) werden de signalen van de 9 kanalen met een frequentie van 4096 Hz, tezamen met informatie over de versterking per kanaal, opgeslagen op een draagbare personal computer (PC; Dell Latitude D610, 2.0 GHz). Ook werden de meetsignalen on-line frequentie-gewogen volgens ISO 2631-1 (1997) en ISO 5349-1 (2001) en konden zowel de ruwe als gewogen signalen worden gevolgd op het beeldscherm met behulp van programmatuur ontworpen in LabView (v. 8.0, National Instruments, US) en Matlab (v. 6.5.1, The Mathworks Inc., US). Versnellingsopnemers en versterkers zijn voorafgaand aan de metingen geïjkt bij de fabrikant. De gehele meetketen (van opnemers tot PC)



*Figuur 2: illustratie bij de meting van hand-arm trillingen tijdens het hanteren van een bladblazer: de opnemer voor hand-arm trillingen geklemd op het handvat.*

is voor elk opnemer-kanaal geijkt met behulp van een vooraf door de fabrikant geijkte calibrator (B&K 4291). Meetversterkers zowel als PC werden tijdens de metingen gevoed met behulp van 12 V accu's.

Tijdens de metingen werd door middel van acht functietoetsen op de PC (F5-F12) aangegeven welke actie begon (iedere functietoets werd vooraf gekoppeld aan een gedefinieerde unieke activiteit, waaronder stationair, vol gas onbelast en normale werk), dit om de analyse achteraf te sturen. De waarde van de ingedrukte functietoets werd gelijktijdig met de meetdata opgeslagen. Deze functietoetsen zijn niet tijdens het maaien gebruikt omdat het niet mogelijk was de PC tijdens de werkzaamheden te bedienen. Om deze reden is daarom tijdens het maaien parallel aan de meting een tijdstudie gedaan en zijn de precieze activiteitsmomenten vastgelegd. Voor de bepaling van de exacte rijnsnelheid van de maaimachines en de positie is tijdens de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op het voertuig bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en enkele keren per dag overgebracht naar de PC. Iedere dag werd voorafgaand aan de metingen de klok van de PC gesynchroniseerd met die van de GPS ontvanger.

## 2.5 Dataverwerking en statistiek

### 2.5.1 Dataverwerking

Opgeslagen data zijn off-line verwerkt. Dit is gedaan in meerdere stappen. In de eerste stap is van ieder opgeslagen signaal softwarematig een frequentie-gewogen signaal berekend, volgens ISO-richtlijnen 2631-1 (1997) en 5349-1 (2001). Deze weging is gedaan met behulp van Matlab (v. 6.5.1, The Mathworks Inc.). Bij de frequentieweging zijn tevens de uitkomstwaarden voor lichaamstrillingen en die van het chassis vermenigvuldigd met een factor  $k$  overeenkomstig ISO-2631-1 (1997):  $k=1.4$  voor trillingen in de X- en Y-richting,  $k=1.0$  voor trillingen in de Z-richting. Vervolgens is van ieder frequentie-gewogen signaal een zogenoemd “running rms” berekend. In onderstaande formule is de berekenwijze weergegeven:

$$a(t_0) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \cdot \int_{t_0-\tau}^{t_0} a^2(t) \cdot dt} \quad (1)$$

waarin  $a$  de instantane versnellingswaarde (in  $m/s^2$ ) van het frequentie-gewogen trillingssignaal op tijdstip  $t$  en  $\tau$  de integratietijd. Deze laatste werd constant gehouden op 1 s, volgens aanbeveling in ISO-2631-1 (1997).

Als tweede stap werd van ieder meetkanaal ( $n=9$ , t.w. 3 kanalen lichaamstrillingen, 3 kanalen hand-arm trillingen, 3 kanalen trillingen van het chassis aan de stoelbasis in geval van de maaimachines;  $n=6$ , t.w. 3-6 kanalen hand-arm trillingen in geval van de andere arbeidsmiddelen) het ruwe signaal, het frequentie-gewogen signaal en het running rms signaal weergegeven op het

beeldscherm, tezamen met de functietoets- en eventuele rijnsnelheidsinformatie. Stabiele datasegmenten (d.w.z. stabiel zowel wat betreft trillingswaarden over alle kanalen als eventuele rijnsnelheid) werden geselecteerd tijdens de verschillende acties, onderscheiden middels de functietoetsen of de tijdstudie: zie paragraaf 2.4. Root-mean-square (rms) trillingswaarden van deze segmenten ( $a_{wki}$ , in  $m/s^2$ ) over alle frequentie-gewogen kanalen zowel als over de drie ongewogen kanalen van de trillingsmeting van het chassis aan de stoelbasis, zijn berekend volgens

$$a_{wki} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_{wk}^2(t) \cdot d(t)} \quad (2)$$

waarin  $a_{wk}(t)$  de instantane waarde in de as richting  $k$  (met  $k=X, Y$  of  $Z$ ) van het trillingssignaal op tijdstip  $t$  en  $T$  de duur van het geselecteerde  $i^e$  segment.

De Europese trillingsrichtlijn 2002/44/EG (EU, 2002) stelt dat bij de beoordeling van lichaamstrillingen de lidstaten in plaats van de bovengenoemde rms waarde de dosismaat VDV (vibration dose value, ofwel trillingsdosis waarde, in  $m/s^{1.75}$ ) kunnen toepassen. De VDV is als volgt berekend:

$$VDV_{ki} = \sqrt[4]{\int_0^T a_{wk}^4(t) \cdot d(t)} \quad (3)$$

met  $VDV_{ki}$  de VDV waarde van het  $i^e$  segment voor de as  $k$ .

Voor de hand-arm trillingen is de gecombineerde blootstelling over de 3 assen voor het  $i$ -de segment,  $a_{hvi}$  (in  $m/s^2$ ), berekend volgens

$$a_{hvi} = \sqrt{a_{hwxi}^2 + a_{hwyi}^2 + a_{hwzi}^2} \quad (4)$$

waarin  $a_{hwxi}$  de rms trillingswaarde van het  $i^e$  segment in de X-richting, etc.

De trillingswaarden van de verschillende segmenten ( $i = 1$  tot  $n$ ) van dezelfde persoon tijdens dezelfde actie zijn gecombineerd volgens

$$a_{wk} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wki}^2 T_i} \quad (5)$$

voor rms trillingswaarden, voor lichaamstrillingen (gewogen) en die van het chassis aan de stoelbasis (gewogen en ongewogen), waarbij  $T_i$  de duur is van het  $i$ -de segment en  $T_0$  de duur van alle segmenten samen, volgens

$$VDV_k = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n VDV_{ki}^4} \quad (6)$$

voor VDV trillingswaarden, en volgens

$$a_{hv} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (7)$$

voor hand-arm trillingen.

Om de effectiviteit van een gemonteerde stoel te kunnen beoordelen is de SEAT waarde berekend voor de rms trillingswaarden. SEAT staat voor “seat effective amplitude transmissibility”, zoals beschreven door Griffin (Paddan and Griffin, 2002).  $SEAT_{rms}$  is de procentuele ratio van de frequentie-gewogen rms versnellingswaarde op de zitting in één van de trillingsrichtingen  $a_w$  en de frequentie-gewogen rms versnellingswaarde van het chassis aan de stoelbasis in diezelfde richting  $a_{sb}$ :

$$SEAT_{rms} = \frac{a_w}{a_{sb}} \times 100\% \quad (8)$$

Om het effect van meervoudige blootstelling aan schokken te beoordelen heeft ISO een voorstel gedaan in ISO/DIS 2631-5 (2001). Gemeten ongewogen versnellingen van de stoelzitting worden modelmatig in een versnellingsrespons van de wervelkolom omgezet. Op grond van pieken in die versnellingsrespons wordt een versnellingsdosis  $D_k$  (in  $m/s^2$ ) berekend voor elk van de drie versnellingsrichtingen  $k=X, Y$  of  $Z$ , volgens

$$D_k = \left[ \sum_i A_{ik}^6 \right]^{1/6} \quad (9)$$

waarin  $A_{ik}$  de piekversnelling van de  $i^e$  piek in de versnellingsrespons.

De dagelijkse versnellingsdosis  $D_{kd}$  wordt vervolgens berekend door de volgens formule 9 bepaalde  $D_k$  te schalen naar de normale dagelijkse blootstellingstijd, volgens

$$D_{kd} = D_k \times \left( \frac{t_d}{t_m} \right)^{1/6} \quad (10)$$

waarin  $t_d$  de duur van de normale dagelijkse blootstelling en  $t_m$  de duur van de meting is.

Om een eventueel negatief gezondheidseffect door de blootstelling aan schokken te kunnen schatten worden de bovengenoemde maten voor versnellingsdosis omgerekend naar een equivalent van de statische compressie stress  $S_e$  (in MPa) en van de dagelijkse compressie dosis  $S_{ed}$  (in MPa) volgens

$$S_e = \left[ \sum_{k=x,y,z} (m_k D_k)^6 \right]^{1/6} \quad (11)$$

en

$$S_{ed} = \left[ \sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6 \right]^{1/6} \quad (12)$$

waarin de volgende waarden voor  $m_k$  worden aanbevolen:  $m_x = 0.015 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ ,  $m_y = 0.035 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ ,  $m_z = 0.032 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ . Bij dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) wordt in de ISO/DIS richtlijn aangegeven dat de kans op rugschade laag is indien de  $S_{ed}$  onder 0.5 MPa blijft. Een hoge kans ontstaat bij een  $S_{ed}$  boven 0.8 MPa. Bij een geringer aantal blootstellingsdagen worden deze waarden gecorrigeerd: zie de tabel 5 hieronder.

*Tabel 5: grenzen voor de dagelijkse statische compressie dosis  $S_{ed}$  bij een variabel aantal dagen blootstelling aan schokken per jaar door de verrichte werkzaamheden. De getallen zijn geïndiceerd op basis van ISO/DIS-2631-5 (2001).  $S_{ed}$  in MPa. De vermenigvuldigingsfactor is de factor waarmee de  $S_{ed}$ -grenswaarden van een volledig jaar blootstelling (240 dagen) moeten worden vermenigvuldigd.*

Dagen per jaar	240	120	60	30	10	5	2	1
Vermenigvuldigingsfactor	1.00	1.12	1.26	1.41	1.70	1.91	2.22	2.49
<b>Gezondheidsschadekans</b>								
laag: $S_{ed} <$	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2
aanwezig: $S_{ed} <$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.5	1.8	2.0
hoog $S_{ed} >$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.5	1.8	2.0

### 2.5.2 Dataweergave en statistiek

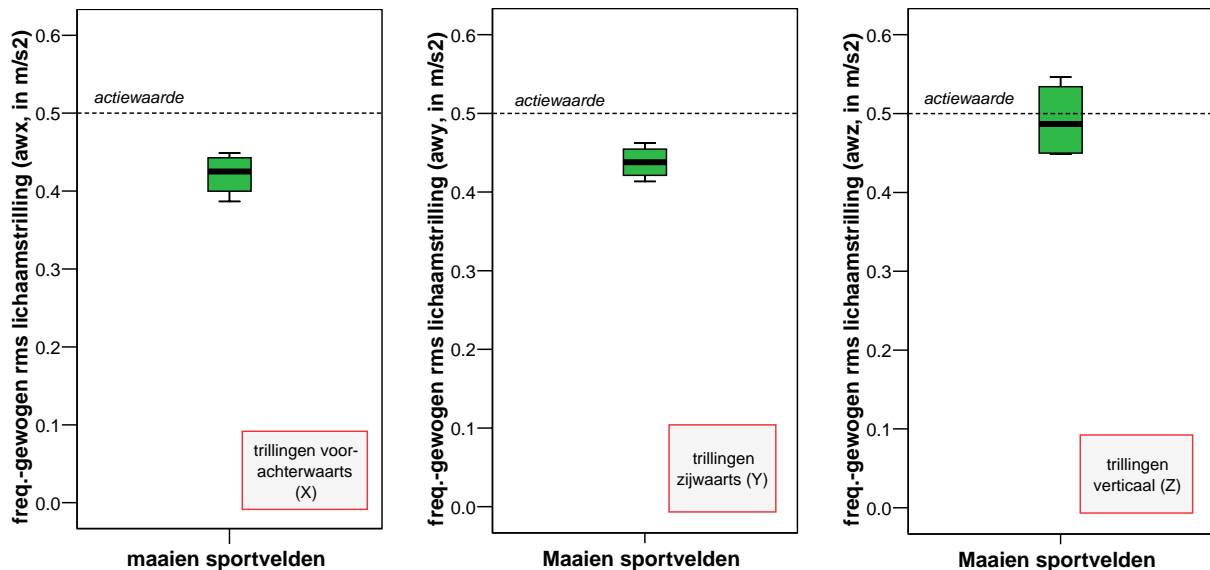
Voor het vergelijken van personen, machines, taken en eventuele aanbouwgereedschappen zijn medianen berekend. De resultaten zijn weergegeven als boxplots. Een boxplot geeft mediane waarden en interkwartielen als box (de box omvat dus 50% van de waarnemingen) en uiterste meetwaarden als lijnen (en eventueel cirkels) boven en onder de box. In de figuren zijn door middel van onderbroken lijnen tevens de niveaus van actie- en grenswaarden voor een acht-urige werkdag getoond.

Statistische toetsing van verschillen is achterwege gelaten vanwege de kleine omvang ( $n=2$ ) van de onderzoekspopulatie per arbeidsmiddel.



## 3 Resultaten

### 3.1 Maaien van sportvelden

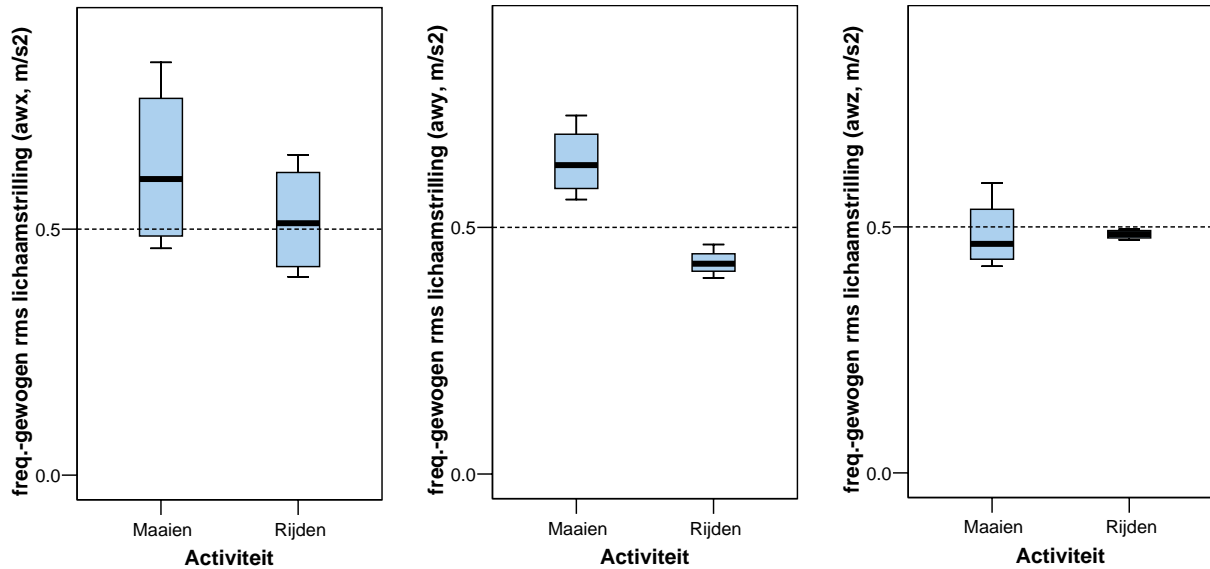


Figuur 3: frequentie-gewogen blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$  (ordinaat, in  $m/s^2$ ), gemeten in de drie richtingen, tijdens het maaien van sportvelden. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de mediane waarden over twee personen en twee machines (B en D). De onderbroken horizontale lijn geeft de actiewaarde indien deze activiteit gedurende een acht-urige werkdag zou worden uitgevoerd.

Het maaien van sportvelden bleek geen systematisch onderscheid tussen beide personen, noch tussen beide machines op te leveren. De samengevoegde data voor de drie trillingsrichtingen zijn weergegeven in figuur 3. De verticale richting bleek licht hoger dan de beide andere richtingen, maar mediaan nog onder de actiewaarde. Dit betekent dat deze werkzaamheid met vergelijkbaar moderne arbeidsmiddelen gedurende acht uur zou mogen worden uitgevoerd zonder dat er sprake is van overschrijding van de trillingsnorm. In de bijlage A zijn de meetwaarden per machine weergegeven. Ook de gemeten waarden voor VDV en schokbelasting indiceren geen overschrijding van de norm (zie daar).

De hand-arm trillingen voor het maaien van sportvelden zijn niet weergegeven. De signalen bleken bij analyse niet stabiel genoeg voor een betrouwbare analyse. Mogelijke oorzaken zijn het stoten van de opnemer op het stuur, vooral tijdens het nemen van de bochten. Ook bleek na enkele metingen een kabelverbinding te zijn los getrild, waardoor één van de trillingsrichtingen niet werd doorgegeven.

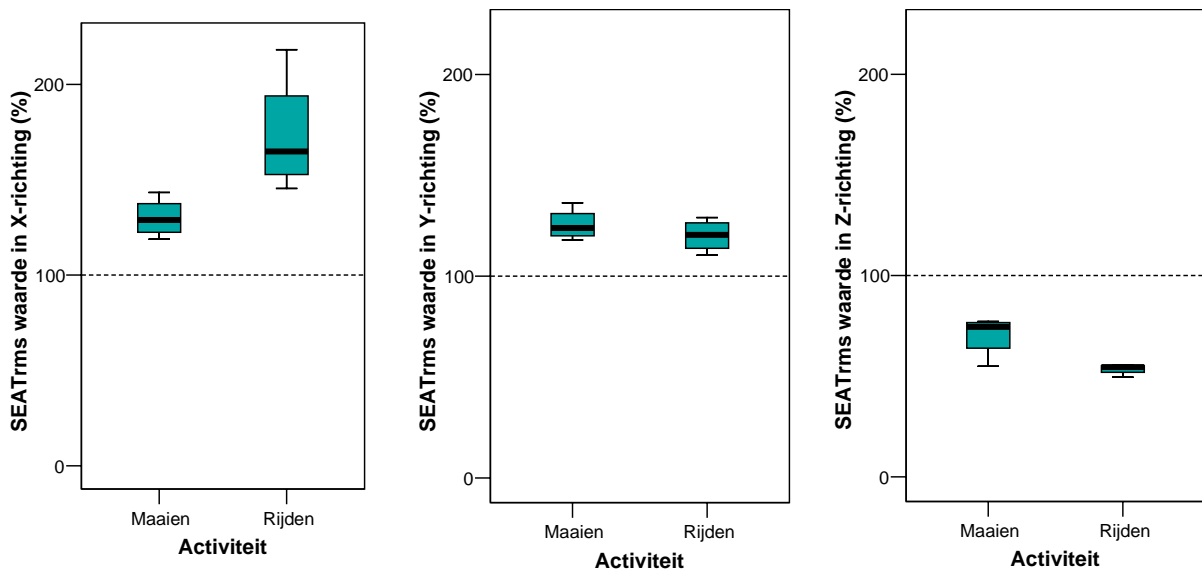
## 3.2 Maaien van plantsoenen



*Figuur 4: frequentie-gewogen blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$  (ordinaat, in  $m/s^2$ ), gemeten in de drie richtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts), tijdens het maaien van plantsoenen. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de mediane waarden over twee personen en twee machines (A en C). De onderbroken horizontale lijn geeft de actiewaarde indien deze activiteit gedurende een acht-urige werkdag zou worden uitgevoerd.*

Voor het maaien van plantsoenen gold hetzelfde als voor het maaien van sportvelden: geen systematisch onderscheid werd gevonden tussen de machines. Wél werd bij een chauffeur een consequent hogere blootstelling gemeten dan bij de andere, voor alle drie richtingen. De gepoolde data voor lichaamstrillingen in de X-, Y- en Z-richting zijn weergegeven in figuur 5. De data per machine zijn gegeven in de bijlage. Het rijden over de straten zit mediaan gesproken onder of rond de actiewaarde. Het maaien zelf komt boven de actiewaarde uit in de X- en Y-richting. Dit kan worden verklaard vanuit het werkpatroon: het werk verlangt het veelvuldig afremmen en optrekken bij paaltjes, hekken, stoerpranden etc. En de velden van relatief kleine afmetingen maken dat er veel gedraaid wordt met de machine. Hand-arm trillingen zijn niet betrouwbaar gemeten en om deze reden niet weergegeven.

In de bijlage is het maaien van plantsoenen als geheel beoordeeld, als zijnde bestaande uit 80% maaien en 10% rijden op de weg (en dus 10% ander werk, waarvan aangenomen is dat deze geen trillingsbelasting met zich mee brengt). Voor de X- en Y-richting geldt dat dit werk op grond van de meetresultaten de actiewaarde na 4.6 (machine C) tot 5.8 (machine A) uur overschrijdt en dus actie behoeft. Dit geldt zowel voor de beoordeling op grond van de rms trillingswaarden als de VDV. Schokbelasting evenwel wordt beoordeeld rond 0.5 MPa, en behoeft daarmee geen nadere actie.

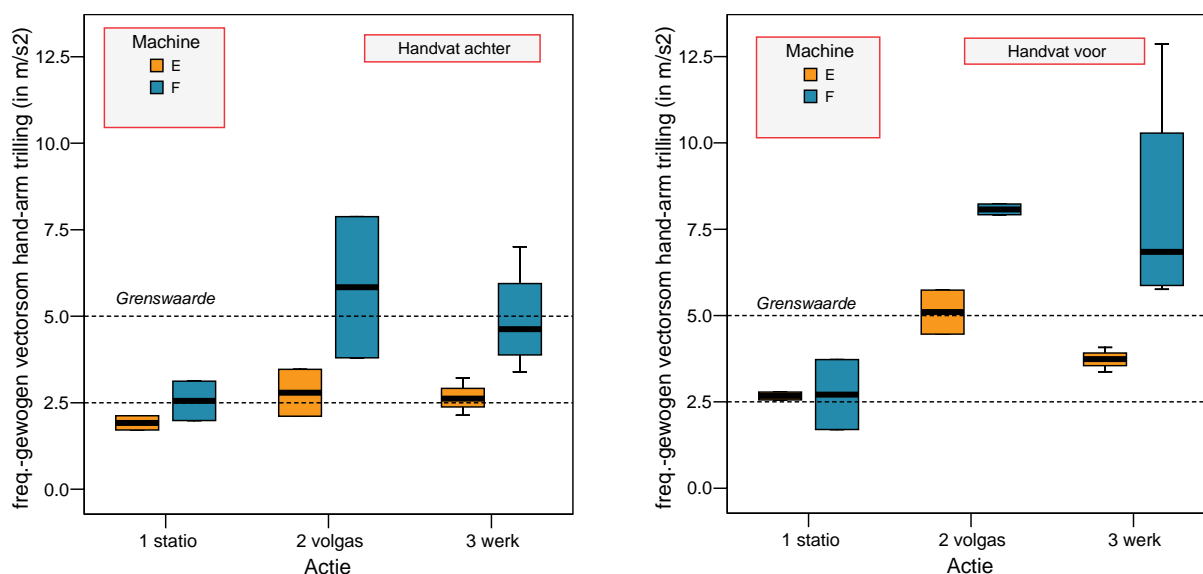


Figuur 5:  $SEAT_{rms}$  waarde (ordinaat, in %), gemeten in de drie richtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts), tijdens het maaien van plantsoenen. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de mediane waarden over twee personen en twee machines (A en C).

Figuur 5 illustreert de effectiviteit van de gemonteerde stoelen op beide maaimachines. De stoelen zijn pneumatisch gedempt in de Z-richting. Uit de rechter paneel blijkt dat deze demping effectief is ( $SEAT_{rms}$  waarde onder 100%). De stoelen zijn niet gedempt in de X- en Y-richting. De meetwaarde van de trillingen op de stoel blijkt hoger te zijn dan die onder de stoel, geïllustreerd door de  $SEAT_{rms}$  waarden in deze richtingen groter dan 100%.

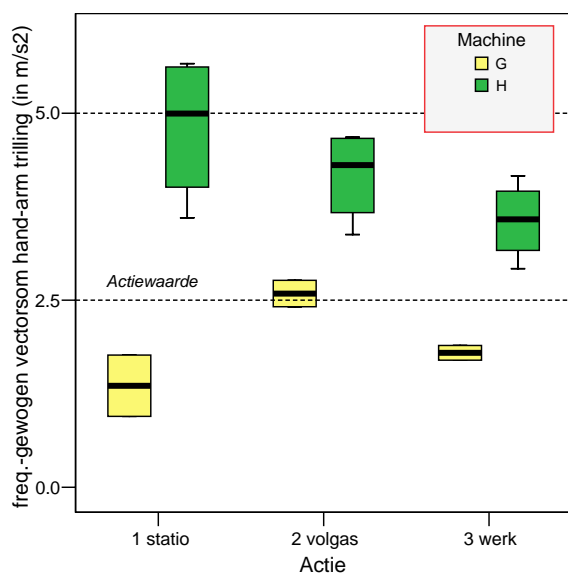
### 3.3 Knippen van heggen

Zoals de figuur 6 illustreert, bleek het verschil in trillingsblootstelling tussen beide heggenscharen en bleek ook de variatie tussen de personen soms groot, hoewel deze variatie niet systematisch bleek. Het achterhandvat van machine E leverde tijdens het knippen een blootstelling op in de buurt van de actiewaarde; het handvat vóór evenwel viel tussen actie- en grenswaarde in. In de bijlage A is aangegeven dat voor deze heggenschaar de blootstelling over een werkdag voor het handvat vóór 3.53  $m/s^2$  bedraagt, hierbij de werkverdeling uit paragraaf 2.3.2 aannemend: 60% van een werkdag van 8 uur daadwerkelijk knippen en 20% de schaar stationair draaien in de hand. Deze tijdverdeling betekent dat de maximale lengte van een normale werkdag voor deze schaar 4.0 uur kan zijn, waarna actie moet worden ondernomen. Voor schaar F bleek de blootstelling aan beide handen aanzienlijk hoger. Het handvat achter komt met het genoemde werkdagpatroon in de buurt van de grenswaarde (4.62  $m/s^2$ ) terwijl het handvat vóór hier ruim overheen gaat (7.28  $m/s^2$ ). Dit trillingsniveau is zodanig dat na bijna één uur de actiewaarde wordt overschreden en na 3.8 uur de grenswaarde wordt bereikt, zodat niet verder gewerkt mag worden. Geen systematisch verschil werd geconstateerd tussen het knippen van de bovenkant en die van de zijkanten van de heggen.



Figuur 6: frequentie-gewogen rms hand-arm trillingen, weergegeven als vectorsom van de drie gemeten richtingen, voor het handvat achter (linker paneel) en vóór (rechts) van heggenscharen voor de drie acties stationair draaien in de hand (statio), vol gas draaien in de hand (volgas) en tijdens normaal knippen van heggen (werk). Weergegeven zijn boxplots per machine, met in de boxen de samengevoegde van de twee personen, waarbij tijdens het knippen zelf tevens de data van horizontaal knippen (bovenkant heg) en verticaal (zijkant en heg) zijn samengevoegd.

### 3.4 Blazen van blad



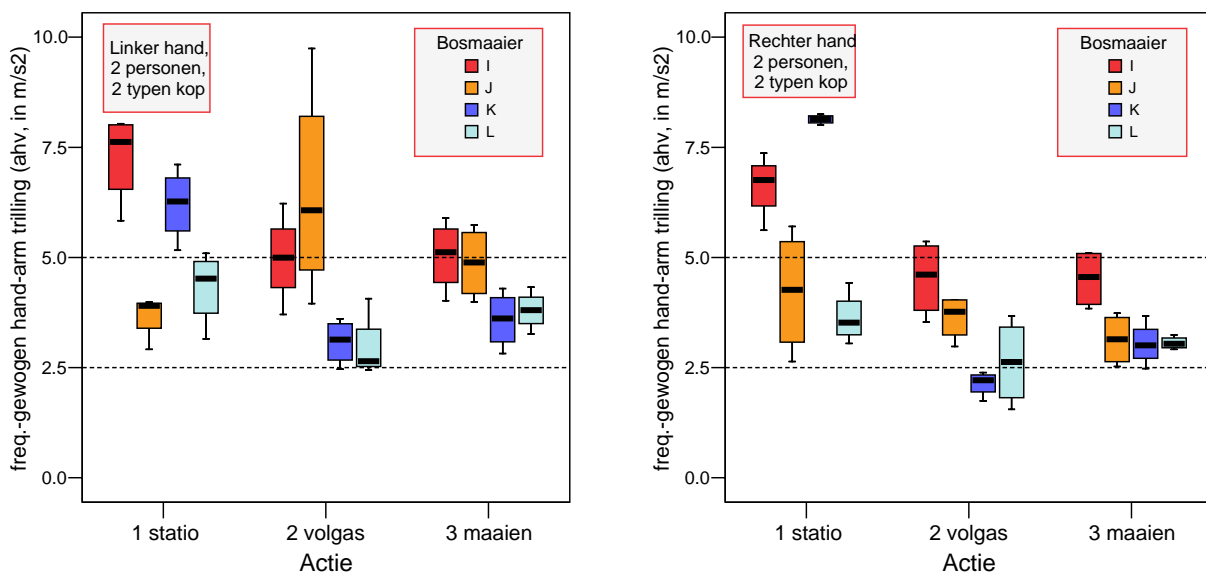
Figuur 7: frequentie-gewogen rms hand-arm trillingen, weergegeven als vectorsom van de drie gemeten richtingen, voor het handvat van een bladblazer tijdens de drie acties stationair draaien in de hand (statio), vol gas draaien in de hand (volgas) en tijdens normaal blazen van blad (werk). Weergegeven zijn boxplots per machine, met in de boxen de samengevoegde van de twee personen en (in geval van machine H) twee typen uitlopen van de blaaspijp.

Het hanteren van bladblazers leverde een groot verschil op in blootstelling tussen beide geteste machines: zie figuur 7. De blootstelling tijdens blazen met blazer H was bij een werkdagpatroon van 80% blazen en 10% stationair hanteren per werkdag van 8 uur  $3.72 \text{ m/s}^2$  (zie bijlage A).

Hiermee kan deze bladblazer 3.6 uur gehanteerd worden alvorens de actiewaarde wordt overschreden. De blootstelling bij het werken met blazer G blijkt evenwel aanzienlijk lager en blijft tijdens een normale werkdag ruim onder de actiewaarde:  $1.72 \text{ m/s}^2$ . Voor bladblazer H werd geen systematisch verschil geconstateerd tussen het werken met een rechte en een gebogen uitmondning van de blaaspijp.

### 3.5 Maaien van gras en struiken met bosmaaier

De resultaten van de metingen aan bosmaaiers zijn weergegeven in figuur 8 en in bijlage A. Het algemene beeld was dat een stationair draaiende machine een hogere blootstelling opleverde dan het maaien zelf. Eveneens bleek het linker handvat doorgaans een hogere blootstelling op te leveren dan rechts. De verschillen tussen de bosmaaiers waren aanzienlijk, met de hoogste blootstelling gemeten bij de lichte bosmaaier I. De blootstelling volgens het dagpatroon 60% (4.8 uur) maaien, 20% (1.6 uur) hanteren van een stationair draaiende machine) kwam boven de grenswaarde uit: om beneden de actiewaarde te blijven mag hiermee 1.5 uur per dag volgens bovenstaand patroon gewerkt worden. De grenswaarde wordt na 6.2 uur bereikt. De zwaardere bosmaaiers J-L blijven beneden de grenswaarde bij een werkdag van acht uur. Beide bosmaaiers J en K bereiken de actiewaarde na respectievelijk 2.4 en 2.5 uur werken (dagblootstellingen van 4.6 en  $4.45 \text{ m/s}^2$ ). Meest gunstig was bosmaaier L (dagblootstelling  $3.94 \text{ m/s}^2$ ), waarmee 3.2 uur per



*Figuur 8: frequentie-gewogen rms hand-arm trillingen, weergegeven als vectorsom van de drie gemeten richtingen, voor het handvat links (linker paneel) en rechts (rechts) van bosmaaiers voor de drie acties stationair draaien in de hand (statio), vol gas draaien in de hand (volgas) en tijdens normaal maaien van bermen en taluds (maaien). Weergegeven zijn boxplots per machine, met in de boxen de samengevoegde van de twee personen en twee typen snijkop.*

dag gewerkt kan worden volgens het eerder beschreven patroon, alvorens de actiewaarde wordt overschreden. Geen systematisch verschil werd geconstateerd tussen het gebruik van de draadkop ten opzichte van het snijmes. Om deze reden zijn de meetdata van beide in de figuur en tabellen samengevoegd.

## 4 Discussie

Het huidige onderzoek had als doelen (1) in te schatten in hoeverre het gebruik van moderne arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen onder praktijkomstandigheden voldoet aan de norm voor de maximale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen, en (2) aan te geven of er technische maatregelen voorhanden zijn om de trillingsblootstelling te verlagen. Met betrekking tot het eerste doel wordt geconstateerd dat het maaien van sportvelden geen nadere actie behoeft, maar dat tijdens het maaien van plantsoenen aandacht besteed moet worden aan het verminderen van de lichaamstrillingen in de voor-achterwaartse en zijwaartse richting. De blootstelling aan hand-arm trillingen tijdens het knippen van heggen, bladblazen en maaien van bermen met een bosmaaier blijkt te hoog: na maximaal 3 tot 4 uur werken wordt de norm (actiewaarde) overschreden. Dit werd geconstateerd voor de meest geavanceerde machines. Alleen voor bladblazen bleek een trillingsarme machine voorhanden, waarmee een gehele werkdag kan worden gewerkt zonder overschrijding van de norm.

### 4.1 Beperking van het huidige onderzoek

Een algemene opmerking moet worden gemaakt over de betrekkelijke beperktheid van de omvang van metingen in het huidige onderzoek. Het werk is paarsgewijs beoordeeld aan steeds twee machines bediend door twee ervaren werkers. De spreiding in lichaamstrillingen tijdens het maaien van sportvelden blijkt beperkt, waarschijnlijk vanwege de homogeen vlakke ondergrond en de geringe variatie in rijsnelheid. Echter, tijdens het maaien van plantsoenen bleek de vrijheid van handelen (i.e. keuze van parcours en snelheid) voor een chauffeur aanzienlijk groter. Eerdere onderzoeken bij chauffeurs op trekkers en heftrucks (Oude Vrielink, 2007b, Oude Vrielink, 2007c) hebben laten zien dat de blootstelling vooral wordt bepaald door ongelijkheden in de ondergrond en variaties in rijsnelheid. Verschillen tussen beide chauffeurs werden geobserveerd in het optrek- en remgedrag, alsook in de snelheid waarmee bochten om obstakels werden genomen. Dit verschillende gedrag kan een verklaring zijn voor de gemeten spreiding.

Tijdens het hanteren van de verschillende hulpmiddelen voor de groenvoorzieningen werden soms ook forse verschillen tussen personen gemeten. Deze verschillen bleken alleen niet systematisch. In een eerdere rapportage (Oude Vrielink, 2007a) is beargumenteerd dat de meetresultaten voor hand-arm trillingen mede afhankelijk zijn van de handkracht waarmee de gebruiker het arbeidsmiddel hanteert. Gevraagd is de arbeidsmiddelen op een normale wijze te hanteren. Het is niet onwaarschijnlijk dat dit betekende dat de handknijpkracht tijdens de verschillende metingen varieerde, bijvoorbeeld als gevolg van wijzigende uitwendige omstandigheden. Metingen van langere duur zouden deze bron van variatie kunnen verkleinen. Met name bij het knippen van heggen bleek het niet mogelijk minimaal 10 minuten per persoon aaneen te meten bij hetzelfde arbeidsmiddel, wat de relatief grote spreiding bij het knippen met arbeidsmiddel F zou kunnen verklaren.

## 4.2 Lichaamstrillingen tijdens maaien van gras

Uit het huidige onderzoek blijkt dat het maaien van sportvelden bij gebruik van modern materieel een trillingsblootstelling opleveren onder de actiewaarde en geen verdere actie behoeven. Dit blijkt niet alleen uit de rms-waarden, ook de door de EU vastgestelde alternatieve maat VDV blijft voor de werkzaamheden onder of op de actiewaarde  $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$ , en de beoordeelde schokblootstelling  $S_{ed}$  blijft onder de alert-zone. De geldigheid van deze uitspraak blijft wellicht beperkt tot het gebruik van modern materieel.

Bovenstaande bleek ook te gelden voor trillingen in de verticale richting tijdens het maaien van plantsoenen. Echter, tijdens dit werk zijn trillingen in het horizontale vlak een aandachtspunt. In het huidige onderzoek is gevonden dat de  $SEAT_{rms}$  waarde bij beide cirkelmaaiers in de Z-richting onder 100% bleef. Dit betekent dat in beide machines de stoel de via het chassis aangeboden trilling dempt. De demping vond plaats tot ongeveer 75% (mediane waarde), en viel daarmee binnen het bereik van een “state-of-the-art” stoel, zoals gerapporteerd in de literatuur: <60 tot 90% (CEN/Tr/15172-2, 2005 E). In de X- en Y-richting werden echter waarden van meer dan 100% gemeten. Scarlett en co-onderzoekers (Scarlett et al., 2005) geven in meer algemene zin aan dat trillingen op de stoel gemeten hoger kunnen zijn dan die gemeten aan de stoelbasis, met name in de X- en Y-richting, in verband met de grotere afstand tot het schommelpunt. Demping in het horizontale vlak ligt dan voor de hand en kan bijdragen aan het verminderen van de blootstelling, (Bluthner et al., 2006), waarbij de laatstgenoemde auteurs lieten zien dat de demping afhankelijk is van het lichaamsgewicht van de bestuurder. Door Donati (Donati, 2002) wordt gesteld dat horizontale demping doorgaans niet bedoeld is om trillingen te dempen, maar om de chauffeur en stoel met de machine te laten meebewegen. Hierdoor zal vooral de rugsteun minder stoten in de rug. Horizontale demping wordt meestal beperkt tot enkele centimeters, met het oog op het voortdurend kunnen bereiken van de pedalen. Of de huidige in de handel zijnde stoelen met demping zowel in de voor-achterwaartse als zijwaartse richting voldoende reductie van de trillingsblootstelling bieden dient onderwerp te zijn van nadere studie.

## 4.3 Hand-arm trillingen tijdens hanteren van arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen

In de literatuur zijn geen recente metingen gepubliceerd van blootstellingen aan hand-arm trillingen tijdens werk in de groenvoorzieningen. In de jaren '80 van de vorige eeuw zijn enkele studies verricht in Japan (Futatsuka, 1984), en in 1990 rapporteerde Bovenzi (Bovenzi et al., 1990) trillingen bij het werken met een bosmaaier van 1.8 en  $3.1 \text{ m/s}^2$ , gemiddeld voor de linker- en rechterhand. Deze waarden werden gemeten bij het maaien van gras met bosmaaiers die qua motorinhoud vergelijkbaar waren met machine I in de huidige studie. Opvallend zijn niet alleen de relatief lage gemeten blootstellingen in deze Italiaanse studie, tevens is de laagste trillingswaarde bij de linkerhand gemeten. In de huidige studie, maar ook in de opgaven van de fabrikanten, is consequent een lagere waarde voor de rechterhand genoteerd. Dit kan



samenhangen met de asymmetrie van de dubbele handgreep, waarbij het linker gedeelte ervan verder verwijderd is van de motor ten opzichte van het rechter gedeelte.

Indien de meetresultaten in de huidige studie worden vergeleken met de emissiewaarden zoals opgegeven door de fabrikanten, dan valt op dat bij de meeste arbeidsmiddelen de opgave voor stationair en vol gas onbelast draaien aanmerkelijk lager is dan de hier gemeten blootstellingswaarde. Slechts in drie gevallen (machine H bij vol gas onbelast draaien en machine F en L bij stationair hanteren) zijn de opgegeven waarden van dezelfde orde van grootte als de meetwaarden. Evenals in eerder onderzoek geconstateerd (Oude Vrielink, 2007a) betekent dit dat de keuze van een arbeidsmiddel met het oog op een zo laag mogelijke trillingsemisatie niet betrouwbaar kan worden gedaan indien uitsluitend op de fabrikantgegevens wordt afgegaan. Bovendien kan de beoordelingswijze zoals voorgeschreven voor fabrikanten sterk afwijken van het gebruik in de praktijk. Dit betekent dat voor een beoordeling van arbeidsmiddelen deze aan onderzoek onder praktijkomstandigheden moeten worden onderworpen. Gezien de uitkomsten van de huidige studie zal een dergelijk onderzoek steeds van voldoende omvang (qua meetduur én deelnemende personen) moeten zijn en redelijkerwijs de variatie in de praktijkomstandigheden moeten weerspiegelen.

De huidige studie toont aan dat de aandacht in dit onderzoek naar werkzaamheden in de groenvoorzieningen terecht is: zowel bij het knippen van heggen als het maaien van bermen met de hand is de blootstelling aan hand-arm trillingen te hoog om dit werk gedurende een volledige werkdag toe te staan. Voor het blazen van blad is het investeren in een nieuwe trillingsarme, en overigens ook geluidsarme, machine (machine H, of vergelijkbaar) voldoende om dit werk zonder nadere actie over een werkdag te kunnen volhouden. Bij het knippen van heggen en het hanteren van bosmaaiers wordt na maximaal 4 uur werken de actiewaarde overschreden. De toepassing van nieuwe trillingsdempende techniek in de machines door de fabrikanten zou in de toekomst tot meer trillingsarme machines moeten leiden. Voor de huidige generatie machines geldt dat beperken van de arbeidstijd per werkdag en het voorkomen dat onnodig een stationair draaiende machine wordt gehanteerd de trillingsblootstelling moeten beperken.



## Conclusies en aanbevelingen

Het maaien van sportvelden zal bij werken met modern materieel geen overschrijding van de actiewaarde voor lichaamstrillingen opleveren, zodat dit werk gedurende een volledige werkdag uitgevoerd kan worden.

Bij het maaien van plantsoenen wordt de actiewaarde voor lichaamstrillingen in de voor-achterwaartse en zijwaartse richting overschreden na 4 tot 6 uur volgens een normaal dagpatroon te hebben gewerkt. De belangrijkste bepalende factoren hiervoor zullen het abrupt afremmen en optrekken bij, en het ontwijken van hindernissen zijn en het nemen van krappe bochten. Een effectieve maatregel is een rustiger rijgedrag. Mogelijk vermindert ook het monteren van een stoel met demping in drie richtingen de blootstelling. Dit laatste zal echter door middel van metingen moeten worden aangetoond.

De blootstelling aan hand-arm trillingen bij het hanteren van een aangedreven heggenschaar, bladblazer of bosmaaier is in de meeste gevallen te hoog: hiermee kan maximaal een halve dag gewerkt worden waarna de actiewaarde wordt overschreden. Alleen voor bladblazen voorziet de markt in een verbeterde machine, welke ruim onder de trillingsnorm blijft bij een volledige werkdag. Voor de andere werkmethoden wordt een beperking van de dagelijkse werktijd en het beperken van de tijd dat het arbeidsmiddel stationair draaiend in de hand wordt gehouden aanbevolen om de blootstelling te verminderen.



## Referenties

- Bluthner, R., Hinz, B., Menzel, G., Schust, M. and Seidel, H., 2006. On the significance of body mass and vibration magnitude for acceleration transmission of vibration through seats with horizontal suspensions. *Journal of Sound and Vibration*. 298, 627-637.
- 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., Peretti, A., Zadini, A., Betta, A. and Passeri, A. C., 1990. Physiological reactions during brush saw operation. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 62, 445-449.
- CEN/Tr/15172-2, 2005 E. Whole-body vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 2: Management measures at the workplace. CEN/TC231, Brussels (B).
- Chetter, I. C., Kent, P. J. and Kester, R. C., 1997. The hand arm vibration syndrome: a review. *Cardiovascular Surgery*. 6, 1-9.
- Donati, P., 2002. Survey of technical preventative measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 169-183.
- 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 fysieke 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.
- Futatsuka, M., 1984. Epidemiological studies of vibration disease due to brush saw operation. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 54, 251-260.
- 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.
- ISO-2631-1, 1997. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements. ISO, Geneva, pp. 31.
- 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/DIS-2631-5, 2001. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO, Geneva, pp. 20.
- Lings, S. and Leboeuf-Yde, C., 2000. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 290-297.

- Noël, B., 2000. Pathophysiology and classification of the vibration white finger. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 150-155.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007a. Analysis of the exposure to hand-arm vibrations using petrol-engine chainsaws. Report 2007-01 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-01, ISBN: 978-90-8585-146-2, 38 pp.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007b. Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using agricultural tractors. Report 2007-02 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageninge, report 2007-02, ISBN: 978-90-8585-154-7, 75 pp.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007c. Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using forklift trucks. Report 2007-03 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-03, ISBN: 978-90-8585-155-4, 55 pp.
- Paddan, G. S. and Griffin, M. J., 2002. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 215-241.
- Pope, M. H. and Novotny, J. E., 1993. Spinal biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*. 115, 569-574.
- Scarlett, A. J., Price, J. S., Semple, D. A. and Stayner, R. M., 2005. Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels. Health & Safety Executive, HSE Books, Sudbury (UK), report, 231 pp.
- 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 fysieke agentia (mechanische trillingen)). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*. 372, 1-18.
- 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 (in Dutch). Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen UR, rapport 466, 58 pp.

## Samenvatting

Europese en Nederlandse wetgeving definiëren maxima, dat wil zeggen actiewaarde en grenswaarde, voor de blootstelling aan lichaamstrillingen (WBV) en hand-arm trillingen (HAV) 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 ( $0.5$  en  $2.5 \text{ m/s}^2$ , voor respectievelijk WBV en HAV) wordt overschreden dienen organisatorische, technische en gezondheidkundige maatregelen te worden genomen om verdere blootstelling te beperken. Bij overschrijding van de grenswaarde ( $1.15$  en  $5 \text{ m/s}^2$ , WBV en HAV) moet de blootstelling meteen teruggebracht worden tot onder deze waarde. Het gebruik van verschillende arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen wordt als één van de situaties gezien waarbij mogelijk maatregelen nodig zijn om de blootstelling aan trillingen te verminderen. Het huidige onderzoek heeft als doel een schatting te geven van de normale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen bij het werken met verschillende moderne arbeidsmiddelen in de groenvoorzieningen in de praktijk. Concreet zijn onderzocht: het maaien van sportvelden en plantsoenen, het maaien van bermen en taluds, het knippen van heggen en het blazen van blad. Daarnaast was het doel van het onderzoek aan te geven of de blootstelling eventueel zou kunnen worden teruggebracht indien technisch geavanceerde machines zouden worden gebruikt.

Blootstellingsmetingen zijn uitgevoerd tijdens normale werkzaamheden in de praktijk, met in totaal 8 professionele vrijwilligers. Per werkmethode waren steeds twee personen en minimaal twee verschillende arbeidsmiddelen betrokken. Lichaamstrillingen zijn bij het maaien van sportvelden en van plantsoenen volgens voorschrift (ISO-2631-1, 1997) gemeten op de stoelzitting; bovendien zijn trillingen van het chassis aan de stoelbasis gemeten om de effectiviteit van demping van de stoel (SEAT) te bepalen. Hand-arm trillingen zijn bij alle werkmethoden gemeten aan de handvatten volgens ISO-5349-1 (2001) Alle trillingen zijn per meetpunt bepaald in 3 richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts), en Z (verticaal); voor hand-arm trilling zijn deze als vectorsom  $a_{hv}$  weergegeven. De data zijn tijdens de metingen on-line digitaal weergegeven en opgeslagen en off-line verwerkt. De invloed van snijgereedschap (draadkop of snijmes) op de trillingsblootstelling is apart gemeten bij de bosmaaiers. Bij één bladblazer is tevens het effect van de vorm van de uitblaasopening van de pijp onderzocht. Via een inventarisatie bij de Vereniging voor Hoveniers en Groenvoorzieners is inzicht verkregen in de tijdsduur van de verschillende handelingen die op een werkdag plaatsvinden bij elk van de onderzochte werkmethoden.

Het maaien van sportvelden leverde waarden voor lichaamstrillingen tussen  $0.41$  en  $0.50 \text{ m/s}^2$ , met de verticale richting als hoogste. De verschillen tussen beide personen en machines bleken klein. Lichaamstrillingen tijdens het maaien van plantsoenen bedroegen  $0.61$ ,  $0.61$  en  $0.47 \text{ m/s}^2$  (mediaan, respectievelijk voor X-, Y-, en Z-richting). Hierbij is uitgegaan van een verdeling van 10% van de tijd aan- en afrijden over verharde weg en 80% van de tijd daadwerkelijk maaien. Na 4.6 tot 5.8 (mediaan: 5.4) uur werken wordt de actiewaarde voor horizontale trillingen overschreden.

Het knippen van heggen leverde een hogere blootstelling op voor het handvat vóór ( $a_{hv} = 4.47 \text{ m/s}^2$ , mediaan over de arbeidsmiddelen en personen) ten opzichte van het achterhandvat (mediane  $a_{hv} = 3.27 \text{ m/s}^2$ ). Hierbij is uitgegaan van een verdeling van 20% van de tijd stationair hanteren en 60% van de tijd daadwerkelijk knippen. Met de meest trillingsarme schaar kon 4.0 uur gewerkt worden volgens dit patroon alvorens de actiewaarde zou worden overschreden.

Bij het blazen van blad werd een groot verschil gevonden tussen beide machines:  $a_{hv} = 1.4 - 5.0 \text{ m/s}^2$  en  $1.8 - 3.6 \text{ m/s}^2$  bij respectievelijk stationair hanteren en blazen van blad zelf (de getallen zijn de mediaan van twee personen). Dit resulteerde bij een verdeling over de werkdag van 10% van de tijd stationair hanteren en 80% daadwerkelijk blazen van blad dat de dagblootstelling varieerde van 1.8 tot  $3.7 \text{ m/s}^2$  en dat daarmee de tijd tot overschrijding van de actiewaarde varieerde tussen  $> 8$  uur tot 3.6 uur. Geen verschil werd geconstateerd tussen een ronde en een rechte uitlaatpijp.

Het gebruik van bosmaaiers leverde voor alle machines de hoogste blootstellingen op voor het linker handvat (mediane  $a_{hv} = 4.50 \text{ m/s}^2$ ) ten opzichte van rechts ( $a_{hv} = 4.11 \text{ m/s}^2$ ), bij een verdeling van 20% van de tijd stationair hanteren en 60% van de tijd daadwerkelijk maaien. De meest trillingsarme machine overschreed bij dit dagpatroon na 3.2 uur de actiewaarde. Geen verschil werd gemeten tussen de typen snijgarnituur.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken: (1) tijdens het maaien van plantsoenen moet aandacht worden besteed aan het verminderen van de lichaamstrillingen in de voor-achterwaartse en zijwaartse richting. Rustiger rijgedrag en/of montage van een verbeterde stoel met demping in het horizontale vlak zouden de blootstelling kunnen verminderen. Het laatste punt zal met metingen moeten worden onderbouwd. (2) De blootstelling aan hand-arm trillingen tijdens het knippen van heggen, bladblazen en maaien van bermen met een bosmaaier blijkt te hoog. Na maximaal 3 tot 4 uur werken wordt de norm (actiewaarde) overschreden. Dit werd geconstateerd voor vrijwel alle geteste machines. Alleen voor bladblazen bleek een trillingsarme machine op de markt, waarmee een gehele werkdag kan worden gewerkt zonder overschrijding van de norm. Voor de andere werkmethoden wordt een beperking van de dagelijkse werktijd en het beperken van de tijd dat het arbeidsmiddel stationair draaiend in de hand wordt gehouden aanbevolen om de blootstelling te verminderen.



## Bijlagen / annex

### Bijlage A: meetwaarden van blootstellingen per bewerking (Measurement values per working activity)

*Alle data zijn gemiddelde waarden van twee personen. Gebruikte symbolen:*

reference axis : richting van de trillingsmeting

$t_m$  : totale meettijd in s

average speed : gemiddelde rijsnelheid in km / uur (niet geregistreerd)

$a_w$  : frequentie-gewogen rms versnelling (incl. k-factor) lichaamstrillingen in  $m / s^2$

$a_{hv}$  : vectorsom van frequentie-gewogen rms versnelling hand-arm trillingen in  $m / s^2$

VDV : trillingsdosis waarde in  $m / s^{1.75}$

D : versnellingsdosis volgens ISO/DIS-2631-5 (2001) in  $m / s^2$

$S_e$  : equivalent statische compressie stress volgens ISO/DIS-2631-5 (2001), in MPa

$t_d$  : expositietijd op een werkdag in s

8h VDV : trillingsdosis over een werkdag van 8 uur, gegeven  $t_d$ , in  $m / s^{1.75}$

$S_{ed}$  : equivalent dagelijkse statische compressie dosis ISO/DIS-2631-5 (2001), in MPa

#### Mowing of sports fields

machine	reference axis	$t_m$ (s)	average speed (km/h)	$a_w$ ( $m/s^2$ )	$a_{hv}$ ( $m/s^2$ )	VDV ( $m/s^{1.75}$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
B	x	1277	-	0.431	-	2.78	3.92	0.16	25920	7.70	0.32
	y			0.421		2.82	4.23			7.84	
	z			0.499		3.21	4.04			8.55	
D	x	1581	13.9	0.412	-	3.08	4.22	0.22	25920	7.36	0.40
	y			0.455		3.48	6.32			8.32	
	z			0.485		3.28	3.40			7.86	

#### Mowing of public garden fields

##### 1. Distance driving over asphalt road

machine	reference axis	$t_m$ (s)	average speed (km/h)	$a_w$ ( $m/s^2$ )	$a_{hv}$ ( $m/s^2$ )	VDV ( $m/s^{1.75}$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
A	x	748	-	0.548	-	4.41	8.81	0.19			
	y			0.411		3.02	4.96				
	z			0.485		3.12	4.05				
C	x	552	21.3	0.491	-	3.12	6.06	0.19			
	y			0.446		3.09	5.34				
	z			0.485		3.00	3.63				

##### 2. Mowing of fields, including field to field moving

machine	reference axis	$t_m$ (s)	average speed (km/h)	$a_w$ ( $m/s^2$ )	$a_{hv}$ ( $m/s^2$ )	VDV ( $m/s^{1.75}$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
A	x	2484	-	0.591	-	5.53	7.38	0.30			
	y			0.604		5.28	8.52				
	z			0.517		4.33	5.19				
C	x	2256	6.2	0.676	-	5.93	8.30	0.31			
	y			0.670		5.92	8.78				
	z			0.450		4.04	4.86				

##### 3. Total task, comprising of 10% distance driving and 80% mowing of fields

machine	reference axis	$t_m$ (s)	average speed (km/h)	$a_w$ ( $m/s^2$ )	$a_{hv}$ ( $m/s^2$ )	VDV ( $m/s^{1.75}$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
A	x			0.587	-				25920	12.06	0.49
	y			0.586						11.13	
	z			0.514						9.32	
C	x			0.658	-				25920	12.69	0.51
	y			0.649						12.71	
	z			0.454						8.90	

### Trimming of hedges

#### 1. Running stationary

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m\text{-rear}}$ (s)	$a_{hv\text{-rear}}$ ( $m/s^2$ )	$t_{m\text{-front}}$ (s)	$a_{hv\text{-front}}$ ( $m/s^2$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
E	x,y,z	-	137	1.92	127	2.67					
F	x,y,z	-	131	2.56	111	2.71					

#### 2. Racing

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m\text{-rear}}$ (s)	$a_{hv\text{-rear}}$ ( $m/s^2$ )	$t_{m\text{-front}}$ (s)	$a_{hv\text{-front}}$ ( $m/s^2$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
E	x,y,z	-	101	2.79	63	5.10					
F	x,y,z	-	56	5.84	51	8.07					

#### 3. Pure task: trimming of hedges

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m\text{-rear}}$ (s)	$a_{hv\text{-rear}}$ ( $m/s^2$ )	$t_{m\text{-front}}$ (s)	$a_{hv\text{-front}}$ ( $m/s^2$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
E	x,y,z	-	539	2.75	740	3.77					
F	x,y,z	-	372	5.08	762	8.19					

#### 4. Daily task: trimming of hedges, consisting of 60% trimming and 20% holding stationary

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m\text{-rear}}$ (s)	$a_{hv\text{-rear}}$ ( $m/s^2$ )	$t_{m\text{-front}}$ (s)	$a_{hv\text{-front}}$ ( $m/s^2$ )	D ( $m/s^2$ )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV ( $m/s^{1.75}$ )	$S_{ed}$ (MPa)
E	x,y,z	-		2.56		3.53			23040		
F	x,y,z	-		4.62		7.28			23040		

**Blowing of leaf****1. Running stationary**

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
G	x,y,z	-			83	1.36					
H	x,y,z	-			224	5.00					

**2. Racing**

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
G	x,y,z	-			96	2.59					
H	x,y,z	-			191	4.31					

**3. Pure task: blowing of leaf**

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
G	x,y,z	-			1015	1.80					
H	x,y,z	-			1331	3.58					

**4. Daily task: blowing of leaf, consisting of 80% trimming and 10% holding stationary**

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
G	x,y,z	-				1.76			25920		
H	x,y,z	-				3.72			25920		

### Trimming of grass

#### 1. Running stationary

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
I	x,y,z		450	7.62	450	6.76					
J	x,y,z		347	3.90	347	4.27					
K	x,y,z		410	6.27	410	8.14					
L	x,y,z		367	4.52	367	3.52					

#### 2. Racing

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
I	x,y,z		297	5.00	297	4.61					
J	x,y,z		278	6.07	278	3.77					
K	x,y,z		234	3.13	234	2.21					
L	x,y,z		211	2.65	211	2.63					

#### 3. Pure task: trimming of grass

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
I	x,y,z		2177	5.12	2177	4.56					
J	x,y,z		2474	4.88	2474	3.14					
K	x,y,z		2253	3.61	2253	3.00					
L	x,y,z		2290	3.80	2290	3.04					

#### 4. Daily task: blowing of leaf, consisting of 60% trimming and 20% holding stationary

machine	reference axis	average speed (km/h)	$t_{m-left}$ (s)	$a_{hv-left}$ (m/s <sup>2</sup> )	$t_{m-right}$ (s)	$a_{hv-right}$ (m/s <sup>2</sup> )	D (m/s <sup>2</sup> )	$S_e$ (MPa)	$t_d$ (s)	8h VDV (m/s <sup>1.75</sup> )	$S_{ed}$ (MPa)
I	x,y,z			5.69		5.15			23040		
J	x,y,z			4.60		3.44			23040		
K	x,y,z			4.45		4.18			23040		
L	x,y,z			3.94		3.22			23040		

## Referenties (Endnote-output)

- Bluthner, R., Hinz, B., Menzel, G., Schust, M. and Seidel, H., 2006. On the significance of body mass and vibration magnitude for acceleration transmission of vibration through seats with horizontal suspensions. *Journal of Sound and Vibration*. 298, 627-637.
- 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., Peretti, A., Zadini, A., Betta, A. and Passeri, A. C., 1990. Physiological reactions during brush saw operation. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 62, 445-449.
- CEN/Tr/15172-2, 2005 E. Whole-body vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 2: Management measures at the workplace. CEN/TC231, Brussels (B).
- Chetter, I. C., Kent, P. J. and Kester, R. C., 1997. The hand arm vibration syndrome: a review. *Cardiovascular Surgery*. 6, 1-9.
- Donati, P., 2002. Survey of technical preventative measures to reduce whole-body vibration effects when designing mobile machinery. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 169-183.
- 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 fysieke 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.
- Futatsuka, M., 1984. Epidemiological studies of vibration disease due to brush saw operation. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 54, 251-260.
- 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.
- ISO-2631-1, 1997. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements. ISO, Geneva, pp. 31.
- 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/DIS-2631-5, 2001. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. ISO, Geneva, pp. 20.
- Lings, S. and Leboeuf-Yde, C., 2000. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 290-297.
- Noël, B., 2000. Pathophysiology and classification of the vibration white finger. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 73, 150-155.

- Oude Vrielink, H. H. E., 2007a. Analysis of the exposure to hand-arm vibrations using petrol-engine chainsaws. Report 2007-01 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-01, ISBN: 978-90-8585-146-2, 38 pp.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007b. Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using agricultural tractors. Report 2007-02 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-02, ISBN: 978-90-8585-154-7, 75 pp.
- Oude Vrielink, H. H. E., 2007c. Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using forklift trucks. Report 2007-03 (in Dutch; English summary). ErgoLab Research BV & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-03, ISBN: 978-90-8585-155-4, 55 pp.
- Paddan, G. S. and Griffin, M. J., 2002. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 215-241.
- Pope, M. H. and Novotny, J. E., 1993. Spinal biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*. 115, 569-574.
- Scarlett, A. J., Price, J. S., Semple, D. A. and Stayner, R. M., 2005. Whole-body vibration on agricultural vehicles: evaluation of emission and estimated exposure levels. Health & Safety Executive, HSE Books, Sudbury (UK), report, 231 pp.
- 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 fysieke agentia (mechanische trillingen)). *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*. 372, 1-18.
- 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 (in Dutch). Agrotechnology & Food Innovations, Wageningen UR, rapport 466, 58 pp.