

Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

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

*Analysis of the exposure to whole-body and
hand-arm vibrations using forklift trucks*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2007-03



Onderzoek Arboconvenant Agrarische Sector

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

*Analysis of the exposure to whole-body and
hand-arm vibrations using forklift trucks*

Huub H.E. Oude Vrielink¹

Rapport 2007-03

¹ ErgoLab Research B.V.

Colofon

Titel	Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van heftrucks
Auteur(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Rapport nummer	2007-03
ISBN-nummer	978-90-8585-155-4
Datum van publicatie	juli 2007
Vertrouwelijkheid	-
Project code	6211001400
Prijs	Dit rapport is vrij beschikbaar via internet adres www.groenkennisnet.nl/platformarbeid/

ErgoLab Research B.V.
Alexanderweg 56
NL-6721 HH Bennekom
Tel: +31 317 47 64 60
E-mail: huub.oudevrielink@wur.nl
Internet: www.groenkennisnet.nl/platformarbeid/

© 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 verschillende heftrucks in praktijk en in situaties vergelijkbaar met de praktijk. Hierbij is tevens aandacht geschonken aan door de chauffeur beïnvloedbare factoren met het oog op een vermindering van de blootstelling.

Het onderzoek is mogelijk geworden door de medewerking van vele betrokkenen. Allereerst worden de vertegenwoordigingen van de fabrikanten van MotracLinde en Toyota in Nederland bedankt voor hun bereidwillige medewerking aan het onderzoek en het zonder voorwaarden beschikbaar stellen van het materieel! De medewerkers van het proefbedrijf van Wageningen UR – PPO Fruit te Randwijk (Ben, Peter en Jan) worden bedankt voor hun medewerking als chauffeur 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. G.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 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 m/s^2 , for WBV and HAV), exposure should be brought back immediately to below this limit value. The use of forklift trucks is considered to be one of the 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 forklift trucks during a normal working action. In addition, it was investigated to which extent exposure can be influenced actively by the driver and the management by flattening the driving surface, reducing the driving speed, or the choice of tyre type, type of chair, or truck type.

Exposure measurements have been performed with 2 experienced professional forklift drivers on 5 different truck-chair combinations during straight drive over different surfaces and during a simulated loading-unloading task performed at normal and hasty speed on flat cement flooring. 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). Besides, vibrations of the truck chassis at the chair base were measured to determine the effectivity of damping of the chair implemented (SEAT-value). Vibrations for each measurement site were sampled in the 3 standard directions: X (for-afterward; a_{wx}), Y (sideward; a_{wy}), and Z (vertical; a_{wz}). 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 different drivers ($n=2$), type of tyre (massive; rigid or soft rubber), truck type (3 modern forklift trucks in the medium power range), load (unloaded or carrying approximately 1100 kg), chair type (mechanically or pneumatically damped), and fork damping (on or off) on vibration exposure was determined during straight, constant velocity drive at 3 speeds (4, 9 and 14 km/h) over 3 different surface types (flat asphalt, cement flooring and Stelcon plates). For the interpretation of the vibration values measured into daily exposure values, it was assumed that the activity tested is performed during a full 8 h working day.

Performance of the loading-unloading task at normal speed on the cement flooring demonstrated the X-direction to be dominant and exposure to vibrations (whole body and hand-arm) to be below the action value (median range over the trucks: $a_{wx}=0.23\text{-}0.29 \text{ m/s}^s$, $a_{hv}=0.75\text{-}0.82 \text{ m/s}^s$). Hasty performance of the task resulted in a considerably increased exposure: median values of a_{wx} and a_{hv} over trucks were $0.35\text{-}0.46 \text{ m/s}^s$ en $0.98\text{-}1.26 \text{ m/s}^s$, respectively. Exposure appeared to be determined particularly by the degree of (un)evenness of the surface and the driving speed. When driving straight over flat surface (asphalt or cement flooring), exposure remained below the action value for the whole range of velocities investigated. The vertical axis appeared to be the

dominant vibration direction. Straight drive over more uneven surface (Stelcon flooring) resulted in an exceeding of the action value at driving speeds of 9 and 14 km/h (median a_{wz} over all trucks 0.36 – 0.71 m/s^s and 0.43 – 0.84 m/s^s, for both speeds, respectively; median a_{hv} 1.36 – 2.57 m/s^s and 2.48 – 5.58 m/s^s, respectively).

If exposure is to be reduced, the most effective measures appear to be flattening of the driving surface and/or reducing the driving speed. The effects of the use of soft-rubber massive tyres, the carrying of load or the installation of a damper in the lifting mechanism of the fork were only limited. An advanced damping technique of the front axle, as being applied into one of the forklift trucks, seems to have prospects, since both vibration emission of the truck and vibration exposure on the seat were reduced, compared to both other rigid front axle forklift trucks. The question whether this finding also holds for a broader range of conditions, as found in practice, needs further research. It must be noted that on this truck a different chair was mounted, which could be responsible for part of the differences in exposure measured on the seat.

Finally, the measurements showed that damping of the chair mounted should fit the vibration emission of the truck. Although for all chairs tested the SEAT value was below 100%, both the pneumatically damped chairs demonstrated a remarkably elevated exposure to vertical whole body vibrations compared to the standard mechanically damped chairs. It is advised, in order to facilitate the choice of a correct chair, that producers of forklift trucks provide data on the dominant vibration emission frequency of a truck, as determined under a broad range of conditions and while having different types of tyres mounted. In addition, producers of chairs should provide data on the cut-off frequency at different body masses and on the working range of a chair. The cut-off frequency of a chair should be below the dominant emission frequency of the truck.

Keywords: whole body vibration, WBV, hand-arm vibration, HAV, exposure reduction, agriculture, horticulture, forklift truck driving, working technique, driving speed, surface, chair damping, ISO-5349-1, ISO-2631-1.

Inhoud

Voorwoord	5	
Summary	7	
1	Introductie	11
2	Methode	15
2.1	Personen	15
2.2	Machines, uitrusting en werktuigen	15
2.3	Invloedsfactoren	16
2.3.1	Ondergrond en snelheid	16
2.3.2	Heftruck-stoel combinatie	17
2.3.3	Belading	17
2.3.4	Bandentype	17
2.3.5	Vorkdemping	17
2.4	Simulatie van werkzaamheden in de praktijk	18
2.4.1	Beschrijving van de werkzaamheden	18
2.4.2	Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden	18
2.5	Meetapparatuur en procedure	18
2.6	Dataverwerking en statistiek	21
2.6.1	Dataverwerking	21
2.6.2	Dataweergave en statistiek	24
3	Resultaten	25
3.1	Snelheid en ondergrond	25
3.2	Chauffeur	26
3.3	Belading	27
3.4	Bandentype	28
3.5	Vorkdemping	29
3.6	Heftruck-stoel combinaties	29
3.7	Taak: laden en lossen	32
4	Discussie	35
4.1	Beperking van het huidige onderzoek	35
4.2	Lichaamstrillingen tijdens de praktijk van heftruck rijden	35
4.3	Hand-arm trillingen	37
4.4	Invloedsfactoren	37
5	Conclusies en aanbevelingen	41
	Referenties	43
	Samenvatting	47
	Bijlagen	49
	Bijlage A: meetwaarden heftruck-stoel combinaties bij variatie ondergrond en snelheid	49
	<i>Tabel A-1: Combinatie A: heftruck 1 met standaard mechanisch gedempte stoel</i>	49

<i>Tabel A-2: Combinatie B: heftruck 1 met pneumatisch gedempte stoel</i>	50
<i>Tabel A-3: Combinatie C: heftruck 2 met standaard mechanisch gedempte stoel</i>	51
<i>Tabel A-4: Combinatie D: heftruck 3 met standaard mechanisch gedempte stoel</i>	52
<i>Tabel A-5: Combinatie E: heftruck 3 met pneumatisch gedempte stoel</i>	53
Bijlage B: meetwaarden van de blootstellingen bij verschillende bewerkingen	55

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, 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 is in een eerdere rapportage beschreven (Oude Vrielink, 2007a). Voor lichaamstrillingen hebben verschillende auteurs de effecten samengevat, vooral op grond van epidemiologische studies (Hulshof and Veldhuijzen van Zanten, 1987, Burdorf and Sorock, 1997, Bovenzi and Hulshof, 1998, Bovenzi and Hulshof, 1999, Lings and Leboeuf-Yde, 2000, Pope *et al.*, 2002). Alle studies bevestigen dat er naar alle waarschijnlijkheid een verband bestaat tussen blootstelling aan lichaamstrillingen en het optreden van rugpijn, schade aan de wervelkolom en/of tussenwervelschijven, maar geven tevens aan dat er nog altijd onvoldoende hard bewijs is voor een dosis-effect relatie. Met name kan onvoldoende worden aangegeven welk zelfstandig effect lichaamstrillingen hebben ten opzichte van bijvoorbeeld de werkhouding. Wel wordt aanbevolen de blootstelling aan lichaamstrillingen te reduceren tot het laagst mogelijke niveau (Lings and Leboeuf-Yde, 2000). Dit 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 waarschuwingzone voor. Vanuit het gezondheidkundig perspectief mag de waarschuwingzone 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 land- en bosbouw, zijn voor diverse bewerkingen waarden gevonden die boven de actiewaarde lagen. Onder andere werd het werken met een heftruck als een aandachtspunt voor nader onderzoek geïdentificeerd, mede omdat de omstandigheden die betrekking hadden op de gerapporteerde blootstellingen niet altijd voldoende waren beschreven en een deel van de blootstellingen betrekking had op oudere machines. Dit nader onderzoek hield dan specifieke metingen in, omdat de blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen op een willekeurige werkdag bij het werken op een heftruck alleen dan voldoende nauwkeurig was in te schatten. Dit had en heeft deels te maken met de grote variatie aan machines en de keuze in trillingsemisseries-reducerende technische maatregelen die hierin en hierop geïmplementeerd kunnen worden. Deels heeft het ook te maken met de vele invloedsfactoren (zie hierna) die per situatie 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 (ondergrond!) waar ze uitgevoerd worden.

Indien de aanwijzingen in het document (CEN/Tr/15172-1, 2005 E) worden geïnterpreteerd naar heftrucks, zijn de belangrijkste bronnen van trillingen bij heftrucks de motor, het hydraulisch systeem, het contact tussen wielen en ondergrond en het rem- en versnellingsgedrag van de bestuurder. In dit gerefereerde document wordt gesteld dat bij moderne machines, bijzondere omstandigheden daargelaten, de motor geen belangrijke bron van trillingen zal zijn. Dit geldt in ieder geval voor elektrisch aangedreven heftrucks. Het uiteindelijke effect van de andere bronnen op de blootstelling hangt af van een veelheid van factoren. De invloed van deze factoren is door meerdere onderzoekers samengevat (Lines *et al.*, 1995, Stayner, 2003, Scarlett *et al.*, 2005, CEN/Tr/15172-1, 2005 E, CEN/Tr/15172-2, 2005 E, Tiemessen *et al.*, 2007). Een beknopt overzicht hiervan wordt in het navolgende gegeven:

- Massa van het voertuig: in theorie vermindert een grotere massa van de machine de trillingsemisseries (Stayner, 2003). Echter, metingen in de praktijk bij trekkers lieten zien dat er geen relatie kon worden aangetoond tussen de trillingsblootstelling en de massa (Lines *et al.*, 1995). Een te lichte machine ten opzichte van de taak moet echter worden vermeden, mede gezien het volgende punt.

- Belading: doorgaans zal een zwaardere lading de trillingsblootstelling verminderen: in de bosbouw werd een lagere trillingsblootstelling gemeten bij een beladen forwarder, in vergelijking met het rijden met een onbeladen machine (Rehn *et al.*, 2005). Voor heftrucks werd eenzelfde uitkomst gevonden (Malchaire *et al.*, 1996), zij het dat het verschil tussen beladen en onbeladen situatie relatief klein bleef. Het effect van belading werd door de laatstgenoemde auteurs vooral toegeschreven aan een verlaging van de resonantiefrequentie van het voertuig door de grotere massa, waardoor in het algemeen frequentie-weging volgens ISO (zie Methode-sectie) een lagere trillingsblootstelling oplevert. Echter, indien een zware lading leidt tot een aanmerkelijke verplaatsing van het massazwaartepunt van de voertuig-lading combinatie kan de blootstelling juist groter worden (Stayner, 2003). In dit verband moet ook het klotsen van vloeistof in een tank die vervoerd wordt, worden genoemd (CEN/Tr/15172-1, 2005 E).
- Ondergrond: het ervaringsgegeven dat de blootstelling hoger wordt met een meer oneffen ondergrond is bevestigd in meerdere metingen (Malchaire *et al.*, 1996, Hostens and Ramon, 2003).
- Rijsnelheid: meerdere studies laten een verhoogde blootstelling aan trillingen zien met oplopende rijsnelheid (Lines *et al.*, 1995, Malchaire *et al.*, 1996, Hostens and Ramon, 2003). Ook in een meer recent CEN document wordt deze invloed bevestigd (CEN/Tr/15172-2, 2005 E), hoewel de precieze bron van de gegevens niet wordt gegeven.
- Bandentype en –spanning: slechts weinig goed gedocumenteerd onderzoek is bekend. Banden fungeren als basaal dempingsysteem (Lines *et al.*, 1995). Lagere bandenspanning kan zowel een hogere als lagere blootstelling tot gevolg hebben, zoals gemeten volgens ISO-2631-1 (1997). In het algemeen zal een verlaging van de bandenspanning (of: een zachtere vulling van een massieve band) een lagere stijfheid van het voertuig veroorzaken en zal daarmee de eigenfrequentie verplaatsen naar een lager niveau (Stayner, 2003). Omdat de blootstelling frequentieafhankelijk is zal het effect van een verandering in bandenspanning mede afhankelijk zijn van deze invloed op de eigenfrequentie. Uit metingen aan een harvester (bosbouw) bleek bij dalende bandenspanning een dalende trend voor de trillingsblootstelling in verticale richting (Sherwin *et al.*, 2004). Ook wielgrootte zal van invloed zijn. De verwachting is dat de blootstelling groter zal worden indien kleine wielen gebruikt worden op relatief ruwe ondergrond (CEN/Tr/15172-1, 2005 E). Aangenomen mag worden dat de montage van dubbele banden de trillingen in de zijwaartse richting vermindert (CEN/Tr/15172-2, 2005 E).
- Cabinedemping: een enkele experimentele studie beschrijft dat het optimaliseren van de dempingkarakteristieken van de cabine en het hebben van voldoende werkingsruimte voor het dempingsysteem bijdragen aan een vermindering van de trillingsblootstelling (Hansson, 1995).
- Stoeldemping: een lagere trillingsblootstelling bij frequenties vanaf ongeveer 3-5 Hz is gemeten bij gebruik van mechanisch geveerde ten opzichte van niet-gedempte stoelen (Malchaire *et al.*, 1996, Paddan and Griffin, 2002a) en bij luchtgeveerde in vergelijking met mechanisch geveerde stoelen (Hostens and Ramon, 2003). De dempingkarakteristieken van de stoel moeten passen bij de eigenfrequentie van het voertuig (Donati, 2002, Stayner, 2003, CEN/Tr/15172-1, 2005 E).
- Stoeltype en kussenmateriaal: een marginaal verhoogde gemiddelde trillingsblootstelling en een verlaagde blootstelling aan piekversnellingen is gemeten bij gebruik van een rugsteun ten

opzichte van een zitting zonder rugsteun (Hinz *et al.*, 2002). Lagere schuimdichtheid en hogere stevigheid van het zitkussen (en met name de combinatie van beide) hadden een lagere blootstelling tot gevolg (Kolic *et al.*, 2005).

Verder blijkt dat de blootstelling aan lichaamstrillingen afhankelijk is van het lichaamsgewicht van de bestuurder (Malchaire *et al.*, 1996, Huston *et al.*, 1999). In deze laatste onderzoeken hadden de personen met het hoogste lichaamsgewicht de laagste blootstelling bij gebruik van verschillende stoelen en diverse luchtgeveerde kussens als demping. Over de invloed van het rijgedrag (o.a. mate van accelereren en afremmen) op de blootstelling zijn geen meetgegevens gevonden. Tot slot moet de bewerking, de taak zelf, als factor van invloed ook genoemd worden. Hierbij spelen meerdere van bovengenoemde factoren simultaan. Metingen laten zien dat de trillingsblootstelling tussen taken sterk kan verschillen (Rothschild *et al.*, 2002, Scarlett *et al.*, 2005, Vink and Oude Vrielink, 2005).

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 moderne elektrische vorkheftrucks onder met de praktijk overeenkomende omstandigheden. Daarnaast was het doel van het onderzoek aan te geven, tot welk niveau de blootstelling kan worden teruggebracht indien technisch geavanceerde machines of aanpassingen zouden worden gebruikt. Tot slot was het doel te bepalen in hoeverre werkgever en werknemer zelf kunnen bijdragen aan het verminderen van de blootstelling, via het aanpassen van de rijsnelheid, ondergrond, bandentype of vorkdemping.

2 Methode

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens rijden op verschillende heftrucks onder verschillende omstandigheden en bij verschillende snelheden, alsmede tijdens een laad- en lostaak, zoals ook in de praktijk kan voorkomen. Alle metingen zijn uitgevoerd met ervaren vaste medewerkers van het Wageningen UR proefbedrijf van PPO-fruit te Randwijk. De testritten en werkzaamheden zijn uitgevoerd in de onmiddellijke omgeving van het proefbedrijf.

2.1 Personen

De metingen zijn uitgevoerd met twee professionele werkers, beide mannen van 38 en 45 jaar en actief als medewerker gewasverzorging in de fruitteelt. De werkervaring met heftruckwerk bedroeg 18-25 jaren, 10 weken per jaar (periode juli – oktober) en 6-8 uren per week: zie tabel 1. Tijdens piekperioden werd 2 uren per dag gewerkt op de heftruck. Beide personen rapporteerden lichamelijke klachten in het voorbije jaar: één had zowel klachten van de nek als lage rug, de ander van de arm. Alle klachten hingen naar de mening van de medewerkers samen met het werk. Alleen de klacht aan de arm speelde nog ten tijde van het onderzoek, maar hield geen belemmering in voor de taakuitvoering. Beide 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 onderzochte proefpersonen (n=2). Weergegeven zijn de minimum en maximum waarden van de betreffende variabele over de twee personen.

	Leeftijd (jaren)	Lengte (cm)	Lichaams- gewicht (kg)	Ervaring heftruckwerk (jaren)	Arbeid met heftruck (weken / jaar)	Arbeid met heftruck (uren / week)
Minimum:	38	180	70	18	10	6
Maximum:	45	182	78	25	10	8

2.2 Machines, uitrusting en werktuigen

Het onderzoek is uitgevoerd met 3 heftrucks. Vertegenwoordigingen van enkele heftruckfabrikanten zijn van tevoren ingelicht over het onderzoek en gevraagd mee te werken via het adviseren in en eventueel beschikbaar stellen van machines. Vanuit Toyota en MotracLinde werd het verzoek positief beantwoord. Onderzocht zijn uitsluitend elektrisch aangedreven machines met een hefvermogen tot ongeveer 2000 kg in 3-wielige (Toyota) en 4-wielige (Linde) uitvoering. Iedere fabrikant is gevraagd de meest gangbare uitvoering van de heftruck te leveren, alsmede de uitvoering zoals die zou worden opgeleverd met het oog op een zo klein mogelijke blootstelling aan trillingen. Op deze wijze zijn vijf heftruck-stoel combinaties verkregen (zie tabel 2), waarbij op meerdere combinaties nog het effect van verschillende banden of het aanbrengen van een demper op de hefinrichting van de vork onderzocht is.

Tabel 2: Kenmerken van de heftruck-stoel combinaties betrokken in het onderzoek.

Combinatie ¹	Fabrikant type	Bouwjaar	Massa (zonder last, met batterij) (kg)	Hefvermogen (kg)	Bandentype, maatvoering ²	Stoeltype	Stoeldemping, richting ³
A	Linde 335 (E16, 4-wiel uitvoering)	2005	3028	1600	Volrubber Continental CSE Robust SC 15 18x7-8 (v) 16x6-8 (a)	Grammer MSG30	Z: m X, Y: -
B	Linde 335 (E16, 4-wiel uitvoering)	2005	3028	1600	Volrubber Continental CSE Robust SC 15 18x7-8 (v) 16x6-8 (a)	Eblo & B&S Recaro	Z: p X, Y: -
C	Linde 386 (E20PH-01, 4-wiel); met vooras demping	2006	3742	2000	Volrubber Continental CSE Robust SC 15 21x8-9 (v) 16x6-8 (a)	Grammer MSG65 /521	Z: m X, Y: -
D	Toyota 7FBEF18	2006	2930	1800	Volrubber Watts Kargo K2 18x7-8 (v) 15x4.5-8 (a)	Grammer MSG30	Z: m X, Y: -
E	Toyota 7FBEF18	2006	2930	1800	Volrubber Watts Kargo K2 18x7-8 (v) 15x4.5-8 (a)	Savas Columbus	Z: p X, Y: -

¹: de combinaties A en B zijn dezelfde heftruck met andere stoel; ditzelfde geldt voor combinaties D en E

²: v=voorbanden; a=achterbanden

³: m=mechanisch; p=pneumatisch; X,Y,Z: demping aanwezig in richting(en) conform definitie gegeven in ISO 2631-1 (1997)

2.3 Invloedsfactoren

2.3.1 Ondergrond en snelheid

De karakteristieken en locaties van de ondergronden zijn weergegeven in tabel 3. De volgorde van de ondergronden kon per meting wisselen. Voor alle ondergronden zijn de snelheids-categorieën 4, 9 en 14 km/h gehanteerd. Vanwege de relatief korte testtrajecten zijn alle trajecten bij iedere snelheid meerdere keren gereden.

Tabel 3: Kenmerken en locatie van de ondergronden.

Nr	Omschrijving	Kenmerken en locatie
1	Asfalt	Vlak asfalt, met enkele lichte welvingen dwars op de rijrichting, t.w. het terrein van PPO-fruit onmiddellijk ten oosten van het instituutsgebouw. Lengte ongeveer 80 m.
2	Cementvloer	Glad afgewerkte vloer in de gang van de proefhal, waarin over het afgelegde traject twee dilatatievoegen waren opgenomen. Gereden is steeds over de meest noordelijke gang. Lengte ongeveer 40 m.
3	Stelcon platen	Vrij vlak gelegde Stelcon betonplaten met metaalrand, ten noorden van het instituutsgebouw langs de proefvelden. Lengte ongeveer 70 m.

2.3.2 Heftruck-stoel combinatie

Om de verschillen in blootstelling tussen de heftruck-stoel combinaties te meten zijn de vijf combinaties (zie tabel 2) getest met twee chauffeurs, bij drie ondergronden (zie voorgaande tabel) en bij de in de vorige paragraaf genoemd rijnsnelheden. Alle metingen zijn uitgevoerd rijdend met het standaard bandentype zoals in de tabel 2 is aangegeven.

2.3.3 Belading

Om de verschillen in blootstelling tussen het al dan niet meevoeren van belading te meten zijn alle metingen uitgevoerd zowel zonder als met belading. Als belading is steeds een volledig gevulde watertank van 1 m³ gebruikt, totaalgewicht ongeveer 1100 kg.

2.3.4 Bandentype

De mogelijke invloed van verschillende typen banden op de trillingsblootstelling is onderzocht met behulp van de Toyota heftruck (combinaties D en E in tabel 2), rijdend met de twee chauffeurs met en zonder belading over alle ondergronden bij de verschillende snelheden. Naast de eerder aangegeven standaard banden werd de Solideal MAG2 meer-lagige volrubber band gemonteerd. Deze band zou volgens de leverancier van de heftruck de trillingen beter dempen ten opzichte van de standaardband. De maatvoering was dezelfde als die van de standaardband.

2.3.5 Vorkdemping

De mogelijke invloed van de vorkdemping op de trillingsblootstelling is onderzocht met behulp van de twee Linde heftrucks (combinaties A, B en C), waarbij alle metingen zijn verricht met twee chauffeurs, rijdend met belading over de drie ondergronden met de eerder genoemde snelheden. In het hydraulische hefsysteem van de vork werd hiertoe een demper opgenomen, welke met behulp van een klep in- of uitgeschakeld kon worden.

2.4 Simulatie van werkzaamheden in de praktijk

2.4.1 Beschrijving van de werkzaamheden

Trillingsblootstelling als simulatie van de praktijk is gemeten tijdens de taak laden en lossen. Hiertoe werden 6 kuubskisten volledig gevuld met appels en per drie gestapeld één voor één vanaf een gladde betonvloer buiten over een dilatatievoeg naar de cementvloer in de proefhal gereden over een traject van ongeveer 20 m. Daar werden de kisten weer gestapeld weggezet. Nadat de 6 kisten naar binnen waren getransporteerd werden de beide stapels als geheel weer opgepakt en naar de betonvloer gebracht. Deze taak duurde in totaal 10-15 minuten. De chauffeurs is gevraagd steeds de taak eerst op een rustig-beheerste wijze uit te voeren, waarna dezelfde taak nogmaals werd gedaan waarbij een gehaaste uitvoering werd opgedragen. De chauffeur werd ook tijdens deze uitvoering herhaaldelijk aangespoord tot snel werken. Voor de taakuitvoering zijn de heftruck-stoel combinaties A, B, C en E gebruikt.

2.4.2 Normale werkdagpatronen van de werkzaamheden

Voor heftruckwerkzaamheden geldt dat deze normaal gesproken in het seizoen in de praktijk gedurende een variabel deel van de werkdag worden uitgevoerd. In de praktijk komen korte dagelijkse blootstellingstijden voor, maar ook van een volledige werkdag van 8 uur. Wel is het zo dat de 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. Bij de omrekening van de gemeten blootstellingen naar de geschatte dagblootstelling is voor de uitgevoerde taak aangenomen dat deze blootstelling gedurende 8 uren plaatsvindt, dit als meest belastende scenario.

2.5 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 iedere meting werd 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.

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



Figuur 1: illustratie bij de meting van trillingen tijdens rijden met een heftruck: montage van de opnemer voor trillingen op de stoelzitting.

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 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 de 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 (figuur 3).

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; zie foto op de voorkant van dit rapport als illustratie van de meetopstelling). 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 geijkt bij de



Figuur 2: illustratie bij de meting van trillingen tijdens rijden op een bestruck: de opnemer voor hand-arm trillingen geklemd op de stuurknobbel.



Figuur 3: illustratie bij de meting van trillingen tijdens rijden op een bestruck: montage van de opnemer voor chassistrillingen aan de stoelbasis.

fabrikant. De gehele meetketen (van opnemers tot PC) 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, t.w. drie snelheidscategorieën, passeren van een drempel of voeg, optrekken of afremmen, beladen of onbeladen rijden, of stilstand), dit om de analyse achteraf te sturen. De waarde van de ingedrukte functietoets werd gelijktijdig met de meetdata opgeslagen. Voor de bepaling van de exacte rijnsnelheid en de positie is tijdens de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op de heftruck bevestigd. Het rijden over de cementvloer vond binnen plaats, waardoor geen GPS ontvangst mogelijk was. Om deze reden vond de aanloop naar deze vloer buiten plaats en werd de snelheid vervolgens binnen zo constant mogelijk gehouden. 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.

De blootstellingsmetingen om de invloed van de factoren ondergrond, snelheid, heftruck-stoel combinatie, bandentype, belading en vorkdemping te bepalen, vonden plaats volgens een vast protocol: parcours en snelheid werden van tevoren gedefinieerd om voor de chauffeurs en heftrucks een zoveel mogelijk vergelijkbare experimentele situatie te creëren. Metingen zijn verricht met oplopende snelheid. Per snelheidscategorie werd per meting een indicatieve duur van ongeveer 1 minuut aangehouden. Metingen van de laden-lossen taak werden, behoudens de eerder beschreven aanwijzingen, verder niet geïnstrueerd. Dit om een werksituatie te verkrijgen die zoveel mogelijk bij de voor de persoon normale gangbare praktijk zou aansluiten.

2.6 Dataverwerking en statistiek

2.6.1 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 τ de integratietijd. Deze laatste werd constant gehouden op 1 s, volgens aanbeveling in ISO-2631-1 (1997).

Als tweede stap werd van ieder meetkanaal ($n=9$: 3 kanalen lichaamstrillingen, 3 kanalen hand-arm trillingen, 3 kanalen trillingen van het chassis aan de stoelbasis) het ruwe signaal, het frequentie-gewogen signaal en het running rms signaal weergegeven op het beeldscherm, tezamen met de functietoets- en rijnsnelheidsinformatie. Stabiele datasegmenten (d.w.z. stabiel zowel wat betreft trillingswaarden over alle 9 kanalen als rijnsnelheid) werden geselecteerd tijdens de verschillende acties, onderscheiden middels de functietoetsen: zie paragraaf 2.5. Root-mean-square (rms) trillingswaarden van deze segmenten (a_{wki} , in m/s^2) over de 9 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 vervolgens 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, 2002a). $SEAT_{rms}$ 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 tabel 4 in de Resultaten-sectie.

2.6.2 Dataweergave en statistiek

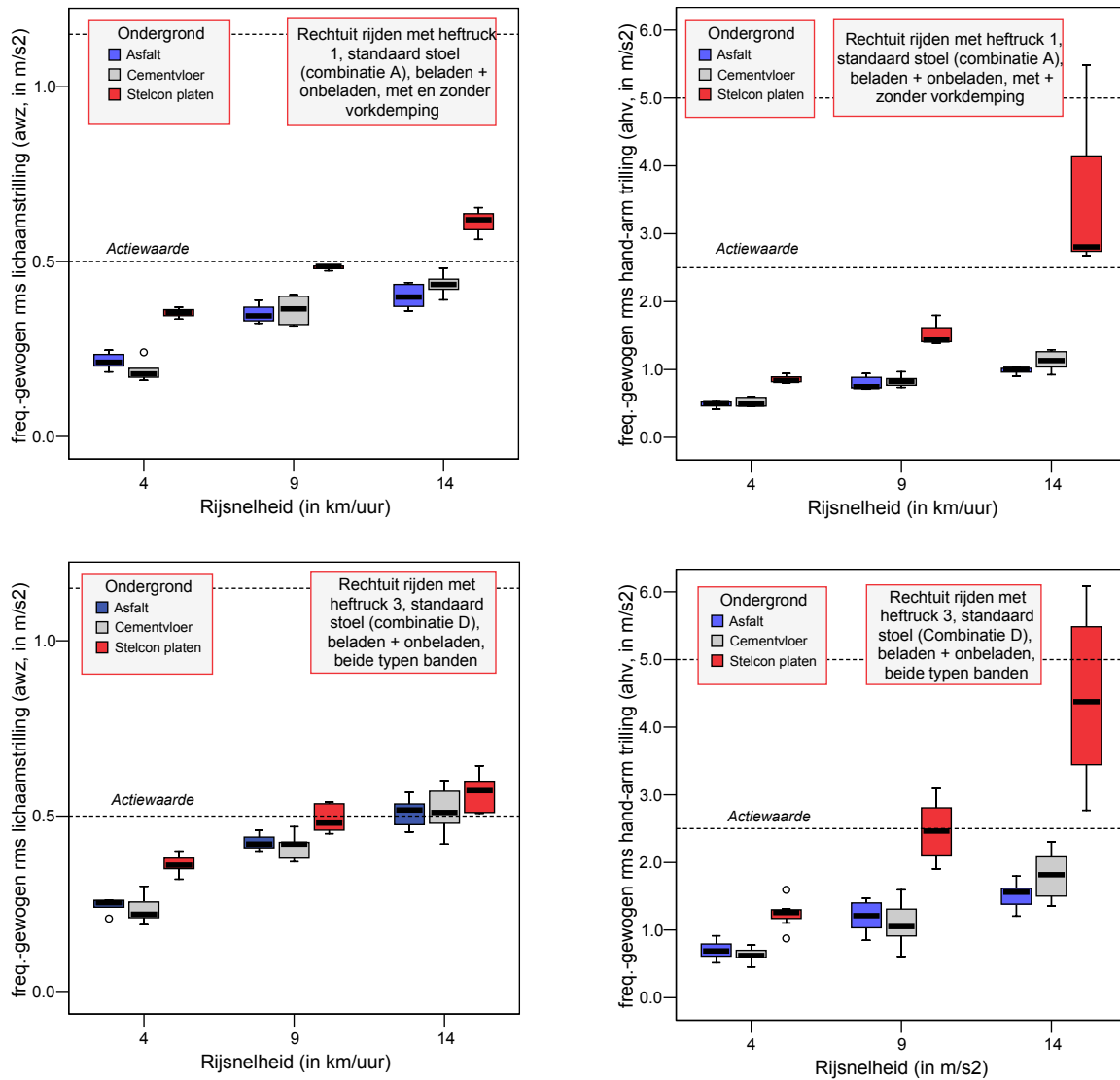
Voor het vergelijken van personen en experimentele situaties zijn medianen berekend per snelheidscategorie (voor het onderzoek naar invloedsfactoren) en per uitgevoerde taak. De resultaten zijn weergegeven als boxplots. Een boxplot geeft mediane waarden en interkwartielen als box (de box omvat dus 50% van de waarnemingen) en uiterste waarden 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 gedaan met behulp van SPSS (v.12.0.1). Organisatie van de data vóór toetsing is gedaan met behulp van Matlab (v. 6.5.1). Verschillen tussen de mediane waarden van de trillingsrichtingen a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} en a_{hv} zijn per heftruck-stoel combinatie en per ondergrond als paar getoetst door middel van Wilcoxon's matched-pairs signed-ranks test. Gerealiseerd wordt dat, gezien de beperkte omvang van de groep chauffeurs, de strikte onafhankelijkheid van de dataparen niet kon worden gewaarborgd. Dezelfde toets is gebruikt voor het onderzoeken van verschillen tussen de opeenvolgende snelheidscategorieën, tussen de ondergronden, de heftruck-stoel combinaties en de bandentypen, het al dan niet voeren van belading of activeren van vorkdemping en tussen de wijzen van uitvoering van de laden-lossen taak

Voor alle toetsen is een p-waarde kleiner dan 0.05 voor significant verschil aangehouden.

3 Resultaten

3.1 Snelheid en ondergrond



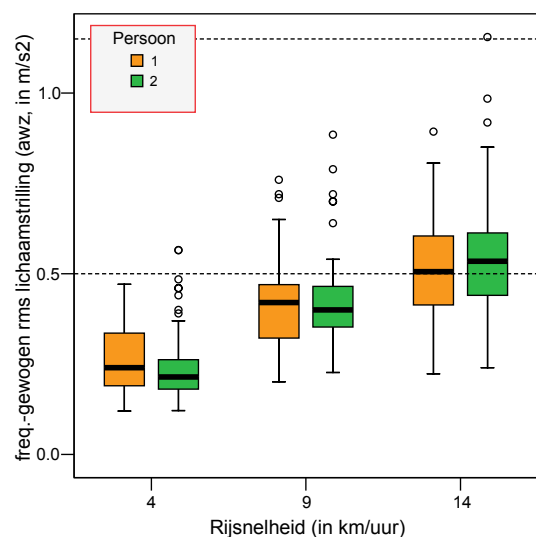
Figuur 4: frequentie-gewogen blootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de Z-richting a_{wz} (ordinaat, in m/s^2 ; beide linker figuren) en hand-arm trillingen a_{hv} (in m/s^2 ; beide rechter figuren) voor drie ondergronden (asfaltweg, cementvloer en Stelcon platen) als functie van de rijsnelheid (x-assen, in drie snelheidscategorieën en in km/h) voor de heftruck-stoelcombinaties A (boven) en D (onder) tijdens normaal rechtoort rijden met constante snelheid. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de mediane waarden over twee personen, beladen en onbeladen situatie en met en zonder vorkdemping (combinatie A) of beide typen banden (combinatie D). Let wel: de x-as is als categorie-schaal weergegeven. De beide onderbroken horizontale lijnen per figuur zijn de niveaus van actie- en grenswaarde voor een acht-urige werkdag.

Tijdens het normaal rechtuit rijden met constante snelheid bleek voor vrijwel alle combinaties van ondergrond en rijsnelheid dat de dominante trillingsrichting verticaal was (Z-richting; p variërend tussen 0.011 en 0.043), waarbij de grootte vooral afhankelijk was van rijsnelheid, ondergrond en heftruck-stoel combinatie. Voor de twee heftrucks 1 en 3, beide met de standaard mechanisch gedempte stoel (combinatie A en D) zijn als voorbeeld van de trends de resultaten van de verticale trillingsmeting en de vectorsom van de hand-arm trillingen overgebracht via het stuur weergegeven in figuur 4. De figuur laat zien dat met oplopende rijsnelheid en ruwere ondergrond de blootstelling aan trillingen van de chauffeur toeneemt. Vrijwel steeds bleek de toename in trillingsblootstelling in elke richting bij de opeenvolgende snelheidscategorieën significant (zie bijlage A). De beide andere richtingen voor lichaamstrillingen lieten een overeenkomstig patroon zien, alleen op een lager niveau. Uitsluitend voor de heftruck-stoel combinatie C op de ondergrond cementvloer bleek bij de lagere snelheden de Y-richting het hoogst, maar statistisch niet verschillend van de Z-richting. Bij vrijwel alle ondergronden en bij alle rijsnelheden bleek de blootstelling in de X-richting (voor-achterwaarts) het laagst.

Voor alle geteste combinaties werd een oplopende blootstelling bij toenemende rijsnelheid waargenomen, zowel van lichaamstrillingen als van hand-arm trillingen. De blootstelling overschreed bij de hoogste rijsnelheid over Stelcon platen bij beide combinaties A en D de actiewaarde, voor zowel lichaamstrillingen in de Z-richting als hand-arm trillingen. Voor horizontale lichaamstrillingen is in geen enkele situatie overschrijding van de actiewaarde waargenomen. De meetwaarden van alle trillingsrichtingen voor elk van de geteste combinaties zijn weergegeven in de tabellen van bijlage A. Steeds betreft het de data van twee personen welke de verschillende ondergronden onder dezelfde omstandigheden hebben getest. Statistische toetsing, gegeven de beperking beschreven in de Methode-sectie, gaf aan dat de blootstelling aan zowel lichaamstrillingen als hand-arm trillingen bij het rijden over Stelcon platen bij bijna iedere combinatie en snelheid groter is ten opzichte van de andere ondergronden. Het onderscheid tussen asfaltweg en cementvloer is minder uitgesproken, maar meestal het laagst voor de asfaltweg, waarschijnlijk mede als gevolg van naveren na het passeren van de dilatatievoeg bij de cementvloer. De testen zijn gedaan over de gecombineerde data voor belading (wel of niet), vorkdemping (wel of niet) en bandentype (hard of zacht). Voor een systematisch overzicht van alle verschillen wordt verwezen naar bijlage A.

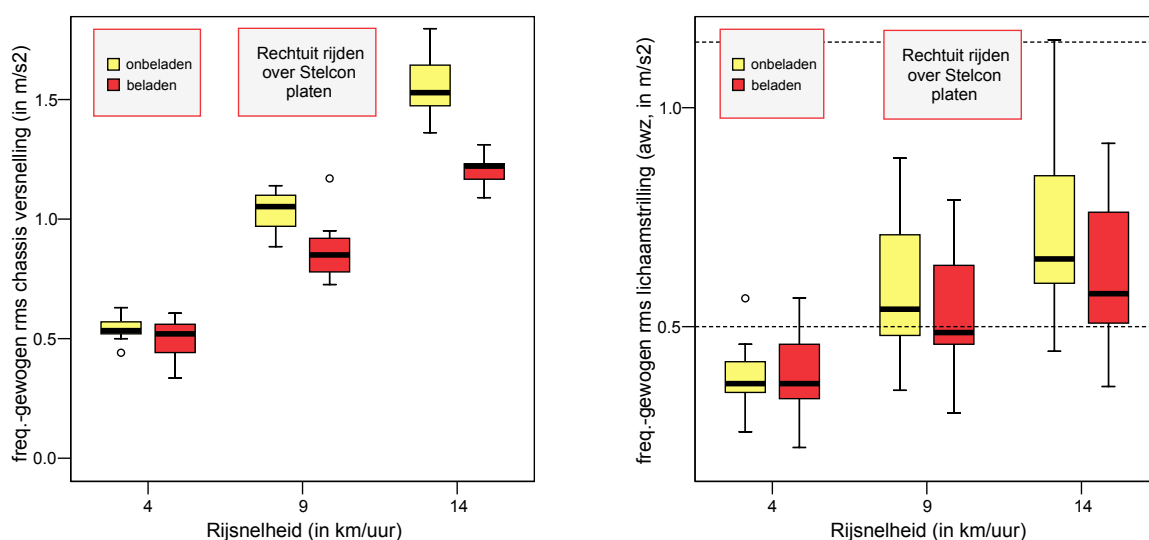
3.2 Chauffeur

Figuur 5: frequentie-gewogen blootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de Z-richting a_{wz} (ordinaat, in m/s^2) als functie van de rijsnelheid (x-as, in drie snelheidscategorieën in km/uur) voor de twee chauffeurs tijdens normaal rechtuit rijden met constante snelheid. Weergegeven zijn de samengenomen data voor alle heftruck-stoel combinaties en alle ondergronden en bandentypen. De cirkels geven extreme waarden weer.



De beperkte opzet van de metingen staat geen uitgebreide toetsing van persoonseffecten toe. Meetwaarden in dezelfde experimentele situatie waren weliswaar zelden identiek, echter indien de verschillen tussen de personen per heftruck-stoel combinatie en ondergronden werden beschouwd kon geen systematisch effect van de chauffeur worden getraceerd. Dit gold zowel voor alle richtingen van de lichaamstrillingen als voor de vectorsom van de hand-arm trillingen. Mediaan over de genoemde experimentele situaties kwamen de uitkomsten voor beide chauffeurs bij iedere snelheidscategorie goed overeen (zie figuur 5 voor a_{wz}). Vanwege het ontbreken van een systematisch onderscheid zijn in de verdere analyse de data van de chauffeurs voor gelijkwaardige meetsituaties samengevoegd.

3.3 Belading

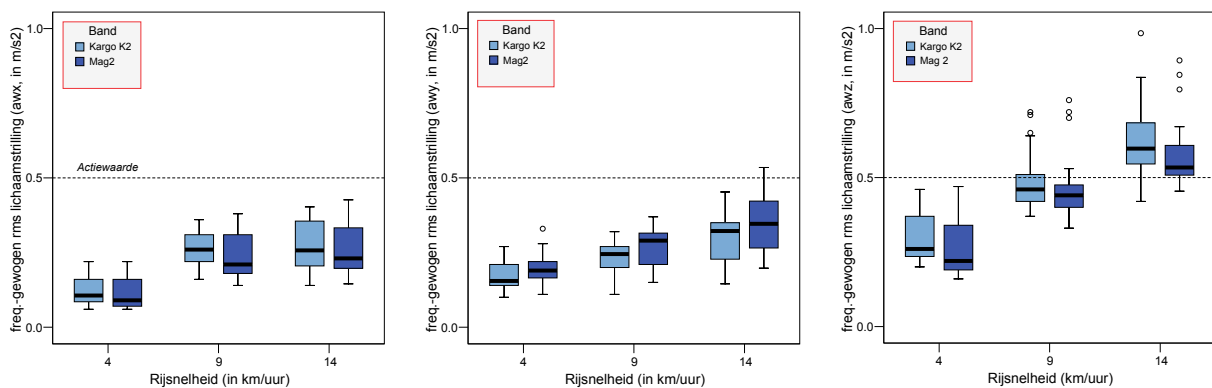


Figuur 6: frequentie-gewogen rms trilling van het chassis in de Z-richting gemeten aan de stoelbasis (linker paneel) en trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de Z-richting, a_{wz} (rechts) als functie van de rijsnelheid (in drie snelheidscategorieën in km/uur) tijdens normaal rechtuit rijden met constante snelheid over Stelcon platen met en zonder belading. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de vijf heftruck-stoel combinaties, twee bandentypen en twee personen.

Het effect van belading bleek vooral bij de verticale trillingen van het chassis aan de stoelbasis, en dan vooral bij de meest ongelijke ondergrond (Stelcon platen): het meevoeren van belading deed de frequentie-gewogen chassistrillingen verminderen. Hierbij werden geen belangrijke verschillen tussen de geteste heftruck-stoel combinaties geconstateerd. De vermindering werd groter bij oplopende rijsnelheid (zie figuur 6, linker paneel). De verschillen waren significant bij 9 km/uur ($p=0.004$) en 14 km/uur ($p=0.002$), over alle combinaties. Voor de X- en Y-richting werd geen systematisch effect van belading gevonden. Het effect van de belading op de verticale lichaamstrillingen (zie bovenstaande figuur, rechter paneel) was aanmerkelijk geringer dan dat op de chassistrillingen. De trend is waarneembaar in de figuur en de verlaging bij met meevoeren van

lading werd bij de snelheidsniveaus 9 en 14 km/uur significant ($p=0.033$ en 0.003 , respectievelijk). Ook hier waren geen belangrijke verschillen tussen de heftrucks. Voor hand-arm trillingen werd een duidelijke verlaging van de blootstelling geconstateerd bij alle ondergronden. De verlaging was het meest uitgesproken bij de Stelcon platen en bleek ook weer bij de snelheidsniveaus 9 en 14 km/uur significant ($p=0.002$ en 0.002 , respectievelijk). Ondanks de geconstateerde significante verschillen zijn in de analyse de data van het rijden met en zonder belading samengevoegd, dit omdat de grootte van de verschillen relatief klein bleek.

3.4 Bandentype

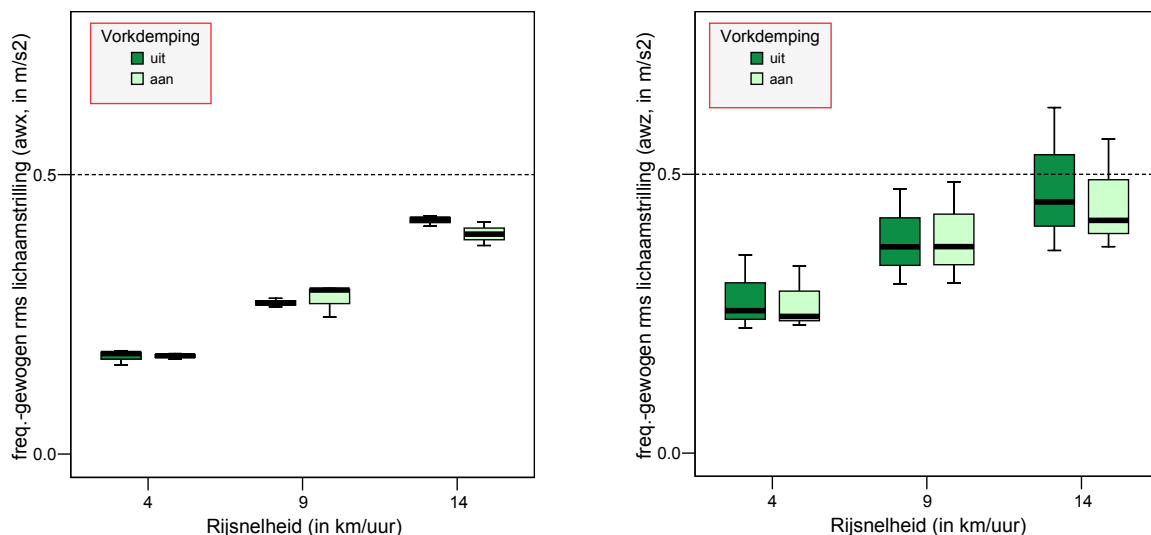


Figuur 7: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting (a_{wx} in m/s^2 , linker paneel), Y-richting, a_{wy} (midden) en Z-richting a_{wz} (rechterpaneel) als functie van de rijsnelheid (in drie snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechtuit rijden met heftruck 3 met constante snelheid, voor twee typen banden (Watts Kargo K2 en Solideal Mag2). Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de drie geteste ondergronden, de beladen en onbeladen situatie, beide stoeltypen en twee personen.

Het effect van verschillende banden is alleen onderzocht aan heftruck 3 (combinaties D en E). De verschillen in lichaamstrillingen tussen beide typen banden bleken klein. Indien de meetwaarden per invloedsfactor separaat werden beschouwd (d.i. onderscheiden naar ondergrond, belading en stoeltype) bleek de optredende variatie niet systematisch samen te hangen met het bandentype. Om deze reden zijn deze factoren samengevoegd en per band weergegeven in figuur 7. Voor de belangrijkste trillingsrichting, Z, bleek een trend tot verlaging van de blootstelling bij gebruik van de meer schokabsorberende band Mag2, welke alleen significant was bij de laagste rijsnelheid ($p<0.011$). Eenzelfde trend gold voor de chassisstrillingen in deze richting gemeten aan de stoelbasis. Voor lichaamstrillingen in de rijrichting (X) kon deze trend ook worden waargenomen (significant bij 4 en 9 km/uur: $p<0.041$). Bij de trillingen dwars op de rijrichting (Y) neigden de meer schokabsorberende banden naar een hogere trillingswaarde (chassis en stoelzitting); dit effect bleek significant bij de hoogste rijsnelheid: $p<0.016$. Voor hand-arm trillingen bleek alleen voor de situatie dat belading werd meegevoerd dat het tweede type banden (Mag2) neigde naar een lagere trillingsblootstelling. Evenwel was dit verschil niet significant. Vanwege de relatief geringe verschillen zijn in de analyse de data van het rijden met beide bandentypen samengevoegd.

3.5 Vorkdemping

Het effect van verschillende vorkdemping is alleen onderzocht aan de heftrucks 1 en 2 (combinatie A, B en C), tijdens het rijden met belading. Voor beide heftrucks en alle ondergronden samen was het effect van het al dan niet actief zijn van de vorkdemping gering en niet significant, zowel voor de lichaamstrillingen, de hand-arm trillingen als de trillingen gemeten aan het chassis. Voor trillingen inde Z-richting is er een tendens te bespeuren naar een lagere blootstelling bij geactiveerde vorkdemping. Ter illustratie zijn in figuur 8 de resultaten van de metingen van de lichaamstrilling in de X- en Z-richting weergegeven. De figuur geeft de samengevoegde meetdata van beide heftrucks (met standaard stoel) en beide personen, rijdend over Stelcon platen. Vanwege de geringe verschillen tussen beide situaties zijn in de analyse de data van het rijden met en zonder vorkdemping samengevoegd.

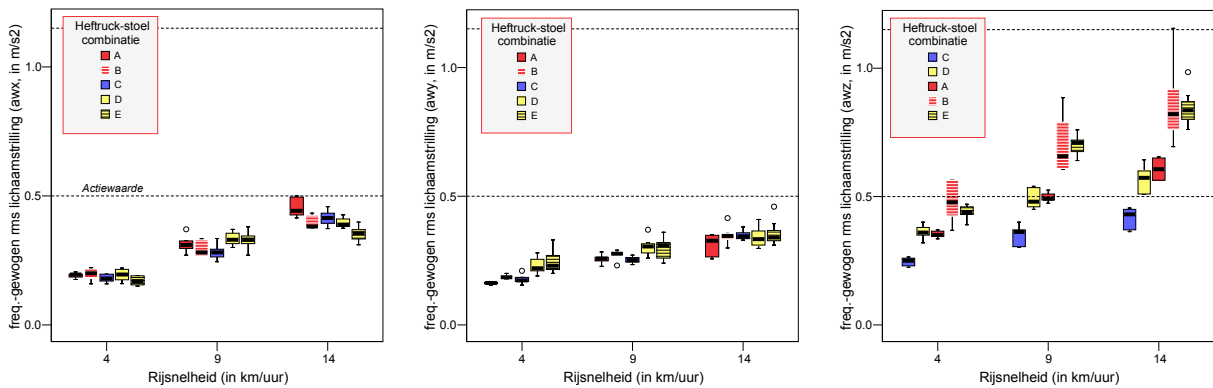


Figuur 8: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting (a_{wx} in m/s^2 , linker paneel) en Z-richting a_{wz} (rechts) als functie van de rijsnelheid (in drie snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden met belading met constante snelheid over Stelcon platen, voor de situaties met en zonder vorkdemping. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de heftrucks 1 en 2 met standaard stoel en twee personen.

3.6 Heftruck-stoel combinaties

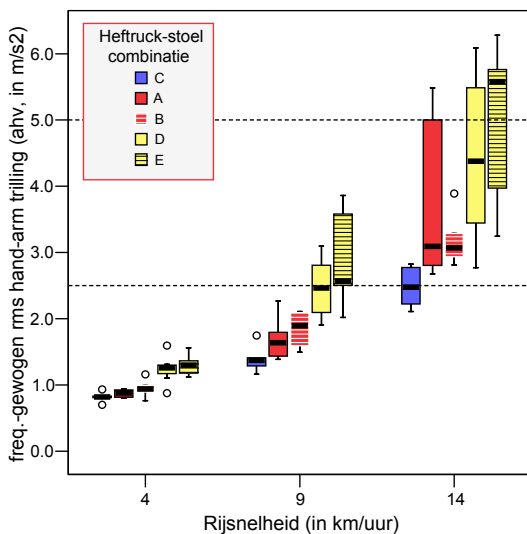
Mediane meetwaarden voor de vijf heftruck-stoel combinaties in de 3 richtingen voor lichaamstrillingen en voor de hand-arm trillingen zijn per ondergrond en snelheidscategorie gegeven in de bijlagen A. Indien de meetwaarden over meerdere invloedsfactoren zijn samengevoegd zijn ook die resultaten daar weergegeven.

Voor trillingen in de X- en Y-richting leverden alle geteste combinaties tijdens rechttuit rijden op de verschillende ondergronden geen overschrijding van de actiewaarde: zie figuur 9 voor rijden

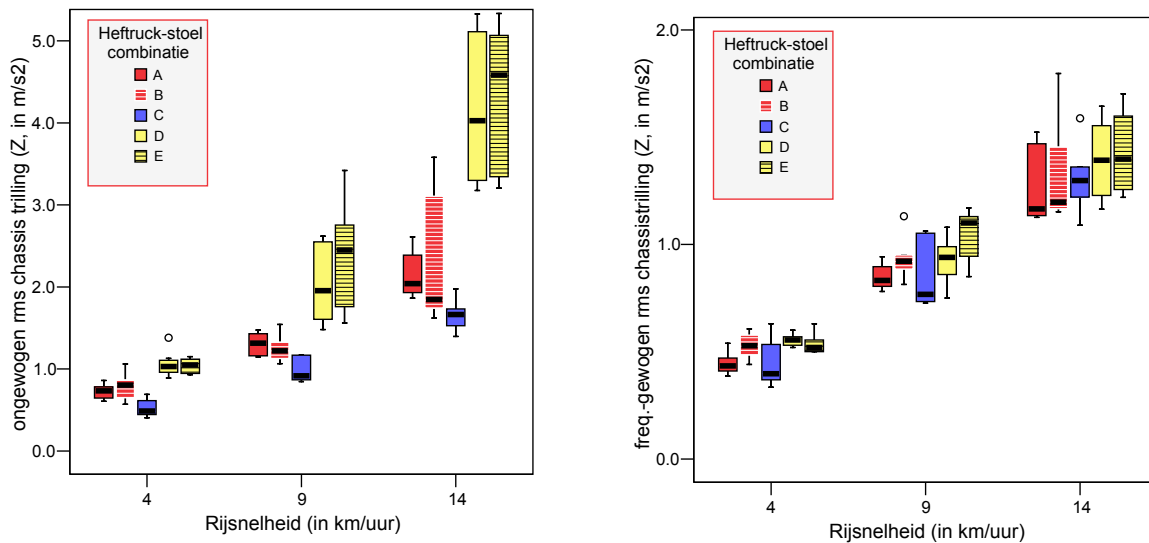


Figuur 9: frequentie-gewogen trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen gemeten in de X-richting (a_{wx} in m/s^2 , linker paneel), Y-richting, a_{wy} (midden) en Z-richting a_{wz} (rechts) als functie van de rijsnelheid (in drie snelheidscategorieën, in km/uur) tijdens normaal rechttuit rijden over Stelcon platen met constante snelheid, voor de vijf heftruck-stoel combinaties. Weergegeven zijn boxplots met in de boxen de samengevoegde waarden over de beladen en onbeladen situatie, met en zonder vorkdemping (combinatie A-C), bandentype (combinaties D-E) en twee personen. Let wel dat in de rechter figuur de volgorde van de combinaties veranderd is ten opzichte van beide andere, dit vanwege een helderder weergave van de resultaten.

over Stelcon platen. De verschillen tussen de combinaties bleken voor deze richtingen beperkt. Voor trillingen in de Z-richting bleef de blootstelling van combinatie C ook op de meest ongelijke ondergrond (Stelcon platen) en bij de hoogste snelheid onder de actiewaarde. Evenwel werd bij alle andere combinaties bij de hoogste rijsnelheid de actiewaarde overschreden (zie dezelfde figuur, rechter paneel). Nota bene dat in het bijzonder de combinaties B en E, d.i. de combinaties met de verbeterde stoelen, aanmerkelijk verhoogde blootstellingen in de Z-richting lieten zien. Deze blootstelling bleek significant verhoogd ten opzichte van beide combinaties met de standaard stoelen ($p=0.028$ en 0.005 voor heftruck 1 en 3, respectievelijk, bij de snelheid van $14 km/uur$, getoetst over alle ondergronden). De blootstelling in de Z-richting voor combinatie C bleek significant lager ten opzichte van de andere combinaties bij elke snelheids categorie ($p<0.010$, getoetst over alle ondergronden).



Figuur 10: frequentie-gewogen blootstelling aan hand-arm trillingen (vectorsom; ordinaat, in m/s^2) als functie van de rijsnelheid (x-as, in drie snelheidscategorieën in km/uur) voor de twee chauffeurs tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid over Stelcon platen voor de vijf heftruck-stoel combinaties. Weergegeven zijn de samengenomen data voor de beladen en onbeladen situatie, met en zonder vorkdemping (combinatie A-C), bandentype (combinaties D-E) en twee personen.

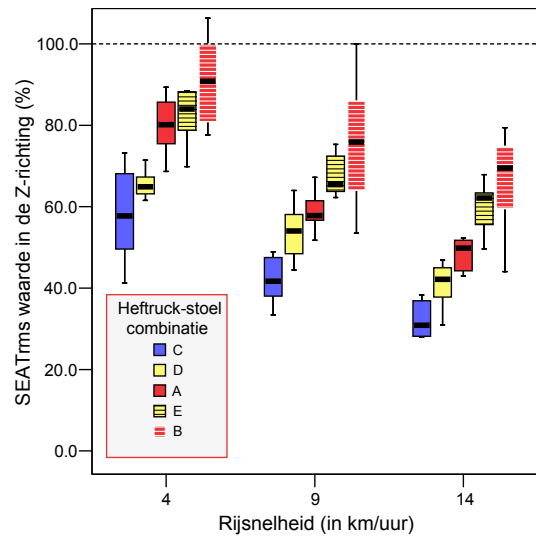


Figuur 11: ongewogen (linker paneel) en frequentie-gewogen (rechts) trillingsmeting van het chassis ter hoogte van de stoelbasis gemeten in de Z-richting (in m/s) als functie van de rijsnelheid (in drie snelheidscategorieën, in km/ uur) tijdens normaal rechttuit rijden met constante snelheid over Stelcon platen voor de vijf heftruck-stoel combinaties. Weergegeven zijn de samengenomen data voor de beladen en onbeladen situatie, met en zonder vorkdemping (combinatie A-C), bandentype (combinaties D-E) en twee personen. Let wel dat de schaal van de y-as van beide figuren verschilt.

Voor hand-arm trillingen bleek dat combinatie C bij alle rijsnelheden over Stelcon platen onder of rond de actiewaarde bleef en de blootstelling naar lagere waarden tenderde ten opzichte van de andere combinaties: zie figuur 10. Alleen ten opzichte van combinatie A bij de hoogste en laagste rijsnelheid bleek het effect niet significant. Het effect van een andere stoel op dezelfde heftruck (combinaties A-B en D-E) bleek niet significant, behalve bij de hoogste snelheid voor de vergelijking van combinaties D met E. Bij de heftrucks 1 en 3 bleek de blootstelling aan hand-arm trillingen boven de actiewaarde te komen bij rijden over Stelcon ondergrond (zie bijlage A). Bij de hoogste rijsnelheid blijken de verschillen in lichaamstrillingen tussen de combinaties A en D, en tussen B en E statistisch niet aantoonbaar, getoetst over alle ondergronden. Wel bleek bij die rijsnelheid dat de combinaties A en B een lagere blootstelling aan hand-arm trillingen veroorzaakten ($p=0.005$ en 0.003 , respectievelijk). Aangetekend moet worden dat bij deze test de situaties met en zonder vorkdemping (A-B) en met beide bandentypen (D-E) zijn samengenomen. Deze data zijn strikt genomen niet geheel vergelijkbaar, maar de afwijking is klein, zoals eerder geconstateerd.

Figuur 11 (linker deel) toont voor de belangrijkste trillingsrichting, Z, dat de trillingsemissie vanuit het chassis gemeten aan de stoelbasis sterk verschilt tussen de heftrucks voor ongewogen trillingen: alle verschillen bleken significant ($p<0.010$), behalve die tussen A en B, en tussen D en E, bij iedere snelheid. Een andere stoel op dezelfde heftruck had dus geen effect. Na frequentieweging bleken de verschillen tussen de heftruck-stoel combinaties niet groot (zie zelfde figuur, rechts), maar statistisch aantoonbaar. Bijvoorbeeld bleek de combinatie A bij alle snelheden een lagere emissie te vertonen dan combinatie D ($p<0.022$).

Figuur 12: SEAT_{rms} waarden (in %) als functie van de rij snelheid (in drie snelheidscategorieën in km/uur) voor frequentie-gewogen trillingen in de Z-richting tijdens normaal rechtuit rijden met constante snelheid over Stelcon platen voor de vijf heftruck-stoel combinaties. Weergegeven zijn de samengenomen data voor de beladen en onbeladen situatie, met en zonder vorkdemping (combinatie A-C), bandentype (combinaties D-E) en twee personen.



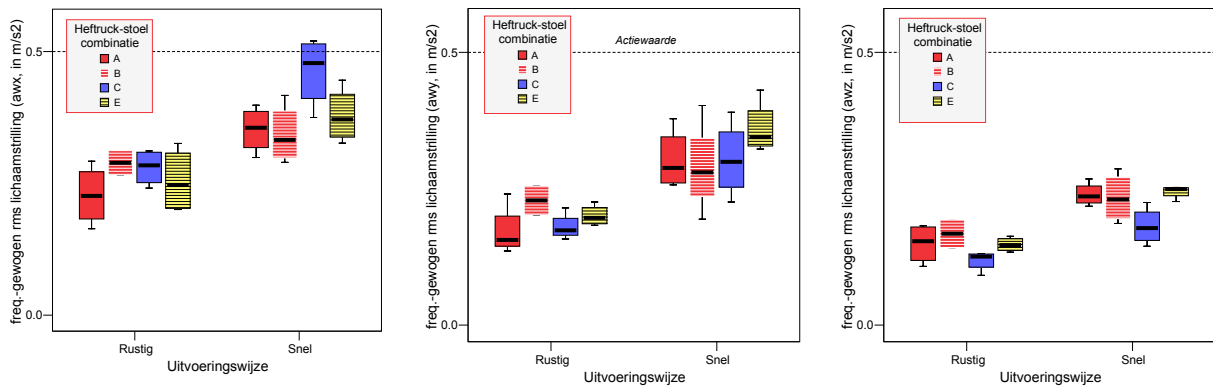
Het eerder geconstateerde verschil in blootstelling aan lichaamstrillingen in de Z-richting tussen de heftruck-stoel combinaties moet dus worden toegeschreven aan de stoel zelf. De effectiviteit van de stoeldemping is geïllustreerd in figuur 12: de stoelen van alle combinaties bleken de aangeboden trilling te dempen (i.e. de SEAT_{rms} waarde blijft onder 100%), waarbij combinatie C de beste demping liet zien. De combinaties B en E bleken de aangeboden trilling het slechtst te dempen.

3.7 Taak: laden en lossen

Blootstellingen van zowel lichaamstrillingen als hand-arm trillingen zijn gemeten voor vier heftruck-stoel combinaties (A, B, C, E) en opgenomen in de bijlage B. Onderscheid is tevens gemaakt naar rustige of gehaaste uitvoeringswijze. Naast de totale meetduur van de bewerking zijn hierin per trillingsrichting X, Y, of Z voor lichaamstrillingen de gewogen en met factor k vermenigvuldigde rms trillingswaarden a_w gegeven, alsmede de VDV-waarden en de statische compressie waarden D , S_e en S_{ed} volgens ISO/DIS-2631-5 (2001). Voor de hand-arm trillingen is de vectorsom a_{hv} over de 3 assen gegeven. De dosis indicatoren VDV en S_{ed} zijn steeds berekend onder de aanname dat de werkmethode gedurende 8 uur op een willekeurige werkdag (i.e. $t_d = 28800$ s) wordt uitgevoerd.

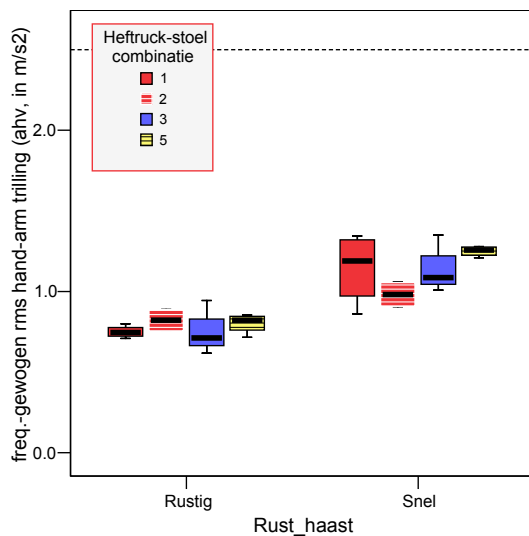
Voor deze taak bleek de X-richting (voor-achter) de trillingsrichting met de hoogste trillingswaarde a_w . Tijdens de meting is bijgehouden of al dan niet beladen gereden werd. Voor de trillingsblootstelling bleek de belading niet onderscheidend. De meetwaarden van de drie trillingsrichtingen (samengevoegd over persoon en beladings situatie) zijn als boxplots weergegeven in figuur 13. In de figuur is tevens de actiewaarde geïndiceerd voor een normale werkdag, gesteld dat deze taak onder deze omstandigheden gedurende een dag zou worden uitgevoerd.

Gehaaste uitvoeringswijze bleek over alle heftruck-stoel combinaties voor elke trillingsrichting tot een significant hogere blootstelling aan lichaamstrillingen te leiden ($p=0.018$). Statistische toetsing van de eventuele verschillen tussen de combinaties binnen een uitvoeringswijze is vanwege de



Figuur 13: frequentie-gewogen r.m.s. trillingsblootstelling aan lichaamstrillingen in de X-richting (a_{wx} in m/s^2 , linker paneel), Y-richting, a_{wy} (midden) en Z-richting a_{wz} (rechts) als functie van de uitvoeringswijze (rustig of gehaast) per heftruck-stoel combinatie voor de taak laden en lossen. Weergegeven zijn de samengename data voor de beladen en onbeladen situatie en twee personen. Actiewaarde voor een normale werkdag is geïndiceerd als horizontale onderbroken lijn.

beperkte omvang van de data achterwege gelaten. Echter, de verschillen tussen de heftruck-stoelcombinaties waren klein en blootstellingen bleven op deze ondergrond onder de actiewaarde. Alleen combinatie C bleek bij gehaaste taakuitvoering de actiewaarde in de voor-achterwaartse richting te benaderen.



Figuur 14: frequentie-gewogen r.m.s. blootstelling aan hand-arm trillingen (vectorsom a_{hv} in m/s^2) als functie van de uitvoeringswijze (rustig of gehaast) per heftruck-stoel combinatie voor de taak laden en lossen. Weergegeven zijn de samengename data voor de beladen en onbeladen situatie en twee personen. Actiewaarde voor een normale werkdag is geïndiceerd als horizontale onderbroken lijn.

Figuur 14 illustreert de blootstelling aan hand-arm trillingen, weergegeven als de vectorsom van de drie trillingsrichtingen, tijdens de taak laden en lossen. Evenals voor de blootstelling aan lichaamstrillingen bleek gehaaste taakuitvoering tot een significant hogere blootstelling te leiden ($p=0.018$) ten opzichte van een rustige uitvoering. Echter, het onderscheid tussen de geteste combinaties was gering. Voor alle combinaties gold dat de trillingsblootstelling ruim onder het niveau van de actiewaarde bleef.

Schokbelasting is apart beoordeeld aan de hand van de richtlijn ISO/DIS-2631-5 (2001). De maat die hierin wordt gebruikt is de S_{ed} , ofwel het equivalent van de dagelijkse statische compressie dosis. In de genoemde richtlijn wordt geadviseerd dat de S_{ed} waarde beneden 0.5 MPa moet liggen om een lage kans te hebben op gezondheidsschade aan de wervelkolom door schokken. Boven de waarde 0.8 MPa is de schadekans groot. Echter, deze waarden gaan uit van een dagelijkse blootstelling gedurende 240 dagen per jaar. Voor de meeste seizoenswerkzaamheden gelden een kleiner aantal blootstellingsdagen op jaarbasis. Onderstaande tabel 4 indiceert de S_{ed} grenswaarden voor lage en hoge schadekans op basis van een variabel aantal dagen per jaar. De tabel laat bijvoorbeeld zien dat voor een blootstelling gedurende 30 dagen per jaar de grenzen 0.7 en 1.1 MPa zijn.

Tabel 4: 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
Gezondheidsschadekans								
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

In bijlage B is te lezen dat de S_{ed} voor de hier uitgevoerde laad- en lostaak ruim beneden de waarde 0.5 bleef. Het onderscheid naar heftruck-stoel combinatie bleek klein.

4 Discussie

Het huidige onderzoek had als doelen (1) in te schatten in hoeverre het gebruik van moderne vorkheftrucks tijdens rijden onder praktijkomstandigheden voldoet aan de norm voor de maximale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen, en (2) aan te geven welke technische en gedragsmatige maatregelen effectief zijn in het verlagen van de trillingsblootstelling. Met betrekking tot het eerste doel wordt geconstateerd dat het uitvoeren van een laad- en lostaak op een gladde vloer onder of rond de actiewaarde blijft bij gebruik van modern materieel. Bij meer ruwe ondergronden, bijvoorbeeld Stelcon betonplaten, mogen overschrijdingen van de actiewaarde worden verwacht, zowel voor lichaamstrillingen als hand-arm trillingen. Met betrekking tot het tweede doel toont het onderzoek aan dat beperking van de rijsnelheid, vlakke ondergrond en geavanceerde dempingstechniek toegepast in de heftruck bijdragen aan het verlagen van de blootstelling aan trillingen. Bandentype, belading (of massa van de heftruck-belading combinatie) en vorkdemping blijken beperkte invloed te hebben. Bij bandentype beperkt deze conclusie zich tot de twee geteste massieve banden van verschillende hardheid. De metingen geven ook aan dat de demping van de gemonteerde stoel goed moet worden afgestemd op die van de heftruck, omdat de mate van demping van de trillingen sterk verschilt tussen de gemonteerde stoelen.

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 beoordeeld aan drie middelzware heftrucks en twee chauffeurs. In eerder onderzoek bij trekkerchauffeurs (Oude Vrielink, 2007b) is laten zien dat de spreiding in blootstelling binnen één chauffeur van dezelfde orde is als die tussen chauffeurs. Ook vanuit de literatuur wordt een grote variatie in blootstelling gerapporteerd bij herhaalde metingen, dus aan dezelfde machine onder dezelfde omstandigheden (Paddan and Griffin, 2002b). De precieze oorzaak van de variatie is niet helder. Mogelijk zullen metingen onderling verschillen vanwege meer of minder ongelijkheden in de ondergrond die zijn meegenomen, omdat niet exact hetzelfde pad is gevolgd. Ook kunnen kleine variaties in rijsnelheid als oorzaak worden genoemd. Ondanks deze beperkingen worden bepaalde trends duidelijk: rijsnelheid en ongelijkheid van de ondergrond zijn de belangrijkste bepalende factoren voor de blootstelling aan trillingen. Ook wordt helder dat het implementeren van een technische vooruitgang als demping van de voorwiellassen aanzienlijk bijdraagt aan het reduceren van de trillingsblootstelling.

4.2 Lichaamstrillingen tijdens de praktijk van heftruck rijden

Heftruck rijden is in meerdere onderzoeken geïdentificeerd als een risico voor het ontstaan van rugklachten, waarvoor verschillende referenties kunnen worden aangehaald (Boshuizen et al.,

1992, Palmer et al., 2000, Waters et al., 2005). Voor het refereren aan “normale” waarden voor trillingsblootstelling tijdens heftruck-gebruik moet, gezien de technische verbeteringen aan o.a. machines, banden en stoelen, bij voorkeur uitsluitend gerefereerd worden aan recent onderzoek. Hulshof en collega's (2006) rapporteerden blootstellingen van 0.8-0.9 m/s², in verder niet nader omschreven productiefaciliteiten en rijomstandigheden. In een papier fabriek werd, in de Z-richting, een overschrijding van de actiewaarde gemeten (0.57 m/s²) en vooral ook in deze richting erg hoge VDV waarden (24-45 m/s^{1.75}), wat duidt op het voorkomen van schokken (Hoy et al., 2005). Paddan vond waarden voor trillingen in de Z-richting tussen 0.46 en 0.92 m/s² (gemiddeld: 0.69 m/s²) bij 11 heftruckchauffeurs onder niet nader omschreven omstandigheden (Paddan and Griffin, 2002a). In een andere publicatie van dezelfde auteurs bij eenzelfde aantal heftrucks bedroegen gemiddelde en range respectievelijk 0.71 en 0.53-1.00 m/s², indien de belangrijkste trillingsrichting werd gebruikt (Paddan and Griffin, 2002b). Bovenzi en co-onderzoekers rapporteerden in verschillende industriële activiteiten (papier-, haven- en marmerindustrie) ook de Z-richting als voornaamste as en hierin de blootstellingsgemiddelden per industrietak variërend tussen 0.28 (papier) en 0.95 (marmer) m/s² (Bovenzi et al., 2006). Recentelijk werden nog hoge gemiddelde waarden gerapporteerd tijdens werken met heftrucks in een havengebied: 1.18 m/s² (Joubert and London, 2007). Dat bij dergelijk hoge blootstellingen maatregelen op zijn plaats zijn wordt geïllustreerd met het gegeven dat in de laatstgenoemde studie bijna 90% van de werknemers klachten van de rug rapporteerde. De spreiding van de gemeten blootstellingen is zódanig dat eigenlijk niet gesproken kan worden van normale waarden. Duidelijk zal zijn dat de specifieke omstandigheden sterk bijgedragen zullen hebben aan de meetwaarden. Echter, de meetwaarden in het huidige onderzoek vallen goed in de range van de hierboven gerefereerde onderzoeken.

Indien de taak laden en lossen als model wordt genomen voor werkzaamheden in de praktijk blijkt uit het huidige onderzoek dat deze werkzaamheden bij gebruik van modern elektrisch aangedreven materieel op gladde vloer 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 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, waarbij in het onderzoek is aangetoond dat moderne trillingsdempende technieken bijdragen aan het verlagen van de blootstelling van de chauffeur.

Het huidige onderzoek constateert dat de de X-richting de belangrijkste trillingsas is tijdens de laden-lossen taak, terwijl deze bij het rechtuit rijden over verschillende ondergronden de Z-richting was. Vanwege de gladde vloer en het transport over de relatief korte afstand speelden versnellingen in de Z-richting blijkbaar een ondergeschikte rol. Echter, het optrekken en afremmen veroorzaakten daarentegen versnellingen in de X-richting tot rond het niveau van de actiewaarde. Indien de resultaten van deze metingen worden geïnterpreteerd naar andere praktijksituaties, dan zal bij gebruik van heftrucks van vergelijkbaar vermogen de blootstelling in het horizontale vlak niet sterk veranderen indien op een andere (i.e. ruwere) ondergrond wordt gewerkt. Echter, de blootstelling in de Z-richting en ook die van de hand-arm trillingen zal aanzienlijk toenemen bij een meer ongelijke ondergrond, dit op grond van de waarnemingen

gedaan tijdens het rijden over de Stelcon platen. Indien andere typen heftrucks of heftrucks met groter vermogen worden ingezet mag een grotere blootstelling worden verwacht vanwege hogere rijsnelheden en effect van de trillende motor. Dit laatste kan ook enigszins worden afgeleid uit het onderzoek van Malchaire (Malchaire et al., 1996). Hierbij vertoonden dieselheftrucks gemiddeld een gering hogere blootstelling ten opzichte van elektrisch aangedreven heftrucks van dezelfde fabrikant, hoewel een effect van gering verschillende rijsnelheid niet kan worden uitgesloten.

4.3 Hand-arm trillingen

Het huidige onderzoek laat zien dat het overbrengen van hand-arm trillingen via het stuur bij rijden over ongelijke ondergrond leidt tot een overschrijding van de actiewaarde van 2.5 m/s^2 . Dit blijkt niet het geval indien de ondergrond vlak is. Eerder onderzoek naar hand-arm trillingen tijdens heftruck rijden is niet bekend. Wel laat het huidige onderzoek zien dat trillingen van het stuur aanzienlijk minder zal zijn zodra demping van aangedreven vooras is toegepast (zie figuur 10).

4.4 Invloedsfactoren

In het huidige onderzoek is geen belangrijk verschil gevonden tussen harde en zachte massieve rubber banden. Malchaire en collega's (Malchaire et al., 1996) vonden ook geen verschillen tussen harde en zachte massieve banden. Deze vergelijking moet met enige voorzichtigheid worden gemaakt omdat het laatstgenoemd onderzoek inmiddels meer dan 10 jaar oud is en intussen andere materialen zullen worden gebruikt. In de studie uit 1996 werd wel een gering verschil gevonden tussen massieve banden en luchtbanden, waarbij de laatste een verschuiving van de dominante trillingsfrequentie van 5 naar 4 Hz veroorzaakten. Echter, indien de dempingeigenschappen van de stoel zodanig zijn dat er bij de 4 Hz juist versterking van de trilling optreedt in plaats van afzwakking kan het rijden op luchtbanden een hogere trillingsblootstelling veroorzaken, zoals gevonden in de studie van Malchaire.

Bovengenoemde auteurs vond een systematisch lagere blootstelling aan lichaamstrillingen bij het meevoeren van lading ten opzichte van het onbeladen rijden, hoewel geconstateerd werd dat de rijsnelheid tijdens de laatste ook licht hoger lag. In het huidige onderzoek werd dit fenomeen bevestigd, hoewel het effect klein was en alleen significant bleek bij de hogere rijsnelheden. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk gelegen in de toegenomen massa van de heftruck-lading combinatie: een grotere massa doet de eigenfrequentie verplaatsen naar een lagere frequentie, waarna blootstellingbepaling volgens ISO-frequentieweging tot een lagere waarde leidt. In het frequentiegebied rond 4 Hz zou dit kunnen spelen voor trillingen in de Z-richting.

In de literatuur wordt aangegeven dat de afstemming van de dempingeigenschappen van stoel en voertuig correct moeten zijn, wil dit leiden tot vermindering van de blootstelling aan

lichaamstrillingen. Belangrijk is dat de zogenaamde cut-off frequency (afsnijfrequentie) van de stoel, d.i. de frequentie waarboven demping van de trilling optreedt en waar beneden de trilling versterkt wordt, lager ligt dan de dominante frequentie van de machine (Donati, 2002). Zoals eerder genoemd zal een zachtere band (lucht, maar in theorie ook een zachtere vulling) de dominante frequentie van de rijdende machine naar een lager niveau brengen (Stayner, 2003). In het huidige onderzoek laten de frequentie-gewogen trillingswaarden op het chassis bij harde en zachte banden eenzelfde trend zien als getoond voor lichaamstrillingen op de stoel. Dat wil zeggen dat de trillingen in de Z-richting de neiging hebben te verlagen bij zachtere banden. Of deze verlaging ook leidt tot een lagere lootstelling zal mede worden bepaald door de dempende eigenschappen en afsnijfrequentie van de stoel.

In het huidige onderzoek is gevonden dat de SEAT waarde bij alle heftruck-stoel combinaties en bij alle rijssnelheden onder 100% bleef. Dit betekent dat in alle geteste combinaties de stoel de via het chassis aangeboden trilling dempt en niet versterkt. Echter, de mate van demping blijkt sterk verschillend tussen de stoelen, en blijkt het sterkst bij de standaard stoelen met mechanische demping. Donati (Donati, 2002) beschrijft in zijn publicatie dat bij de keuze van een stoel de afsnijfrequentie, berekend voor de lichtste chauffeur, lager moet zijn dan de dominante frequentie van het machinechassis. Naarmate de afsnijfrequentie lager wordt dient ook de werkruimte van de stoel te worden vergroot: hierbij kan de afmeting van de cabine de beperkende factor zijn. En verder dient de demper bij iedere chauffeur ongeveer vanuit de middenstand te werken. Dit betekent dat de stoel handmatig of automatisch instelbaar moet zijn voor het lichaamsgewicht. Dezelfde auteur geeft aan dat veel chauffeurs niet begrijpen waarom het instellen van de stoel op het juiste lichaamsgewicht van de berijder belangrijk is (Donati and Patel, 1999). Een goede voorlichting op dit punt kan bijdragen aan het verminderen van de blootstelling onder normale praktijkomstandigheden. Dezelfde auteur (Donati, 2002) stelt 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.

In een eerder genoemd onderzoek (Malchaire et al., 1996) werden geen belangrijke verschillen gevonden tussen heftrucks van hetzelfde type (diesel of elektrisch) onderling, noch tussen verschillende massa en hefvermogens. Ook in het huidige onderzoek bleek het verschil tussen de heftrucks 1 en 3 met standaardstoelen (combinatie A en D) nauwelijks aanwezig. Echter, heftruck 2 (combinatie C) leverde een aanzienlijke verlaging van de blootstelling op, zowel wat betreft lichaamstrillingen als hand-arm trillingen. De heftruck verschilt van de andere heftrucks (en ook van de heftrucks in de literatuur) in het gegeven dat hierin een omkapseling van de vooras is aangebracht ter absorbering van de trillingen. Bij trekkers leverde demping van de assen een vermindering van de blootstelling aan hand-arm trillingen en lichaamstrillingen op, het laatste mits gecombineerd met een stoel met de juiste dempingkarakteristieken (Oude Vrielink, 2007b). Hoewel de metingen suggereren dat ditzelfde het geval is bij de heftruck-stoel combinatie C, zou deze waarneming in een meer uitgebreide test moeten worden geverifieerd.

In de studie van Malchaire (Malchaire et al., 1996) werd gevonden dat de Z-richting voor de blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens rechtuit rijden op zowel ruwe als relatief vlakke ondergronden dominant was. De huidige studie bevestigt dit. Over alle metingen vonden de eerstgenoemde auteurs een gemiddelde blootstelling van 1.59 m/s^2 bij een rijsnelheid tussen 11 en 13 km/uur. De huidige metingen voor de meest ruwe geteste ondergrond, Stelcon platen, laten een aanmerkelijk lagere blootstelling zien voor alle onderzochte heftrucks. Ook als uitsluitend de vlakke betonondergrond in de genoemde studie uit 1996 wordt genomen, blijft de gemiddelde blootstelling (1.12 m/s^2) nog aanmerkelijk hoger dan die in de huidige studie. Hierbij moet in aanmerking worden genomen dat de rijsnelheid in de huidige studie hoger was. Dit kan worden geïnterpreteerd als een duidelijke vooruitgang in de techniek en dat fabrikanten erin zijn geslaagd de blootstelling aan lichaamstrillingen naar een lager niveau te brengen. Evenwel kunnen verschillen veroorzaakt door de ondergrond nu niet geheel worden uitgesloten.

Er zijn meerdere invalshoeken om een verlaging van de blootstelling aan lichaamstrillingen in de praktijk te bewerkstelligen. Bij voorkeur moeten die maatregelen genomen worden die het sterkst bijdragen. Gezien de uitkomsten van deze studie betekent dit dat het zorgen voor een zeer vlakke ondergrond en een lage maximale rijsnelheid de blootstelling effectief zullen beperken. Ook de keuze van de heftruck en de uitvoering ervan zullen een rol spelen. Ook het geven van de juiste voorlichting zou kunnen bijdragen, hoewel het effect van een interventie, gericht op kennis, houding en bedrijfsmaatregelen, op de blootstelling in een Nederlandse studie onder vorkheftruck chauffeurs beperkt bleef (Hulshof et al., 2006). Echter, in dezelfde studie werd aangegeven dat de vermindering in blootstelling het grootst bleek in die bedrijven waar daadwerkelijk maatregelen waren genomen.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het werken met een moderne elektrisch aangedreven heftruck zal bij rijden tot ongeveer 14 km/uur over een gladde ondergrond, zonder oneffenheden en/of drempels, geen overschrijding van de actiewaarden voor lichaamstrillingen en hand-arm trillingen opleveren, zodat onder die omstandigheden het werk gedurende een volledige werkdag uitgevoerd kan worden.

De belangrijkste bepalende factoren voor de blootstelling zijn de ondergrond en rijsnelheid. Indien op enigszins ongelijke ondergrond gereden wordt, zal bij rijsnelheden vanaf ongeveer 9 km/uur overschrijding van de actiewaarden optreden. Bij zeer ongelijke ondergrond zal overschrijding bij aanmerkelijk lagere snelheden kunnen optreden.

Haastige taakuitvoering leidt tot een aantoonbaar verhoogde blootstelling aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen.

Belading, vorkdemping en zachtere banden zijn in dit onderzoek niet als belangrijke factoren naar boven gekomen. Afgeleid kan worden dat ze alle in geringe mate bijdragen aan een verlaging van de blootstelling, maar ze kunnen de effecten van snelheid en ondergrond niet compenseren.

Bij het verminderen van de blootstelling zal de aandacht vooral moeten uitgaan naar de verticale lichaamstrillingen en naar de trillingen overgebracht via het stuur. Naast aandacht voor vlakke ondergrond en beperking van de rijsnelheid lijkt hierbij de toepassing van geavanceerde dempingstechniek (i.e. asdemping) in de heftruck perspectiefvol, omdat deze de trillingsemisatie van chassis naar de stoel lijkt te verminderen. Definitief uitsluitel zou moeten komen van nader onderzoek naar dit perspectief onder een bredere set van praktijkomstandigheden.

Let wel dat de stoelkeuze zeer bewust moet zijn afgestemd op de demping van de heftruck: een verkeerde keuze kan leiden tot een aanzienlijk verhoogde blootstelling aan trillingen, doorgegeven via de stoel aan de bestuurder. Een pneumatisch gedempte stoel levert niet automatisch de laagste blootstelling. Om de juiste stoelkeuze te vergemakkelijken zou (1) de heftruckfabrikant gegevens beschikbaar moeten stellen over de dominante trillingsfrequentie van het voertuig onder uiteenlopende omstandigheden en bij gebruik van verschillende typen banden en (2) bij de stoelen informatie dient te worden verstrekt over de afsnijfrequentie en werkruimte van de stoel, berekend bij verschillende lichaamsgewichten.

Referenties

- Boshuizen, H. H. C., Bongers, P. P. M. and Hulshof, C. C. T., 1992. Self-reported back pain in fork-lift truck and freight-container tractor drivers exposed to whole-body vibration. *Spine*. 17, 59-65.
- Bovenzi, M. and Hulshof, C. T. J., 1998. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Journal of Sound and Vibration*. 215, 595-611.
- Bovenzi, M. and Hulshof, C. T. J., 1999. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *Int Arch Occup Environ Health*. 72, 351-365.
- Bovenzi, M., Rui, F., Negro, C., D'Agostin, F., Angotzi, G., Bianchi, S., Bramanti, L., Festa, G., Gatti, S., Pinto, I., Rondina, L. and Stacchini, N., 2006. An epidemiological study of low back pain in professional drivers. *Journal of Sound and Vibration*. 298, 514-539.
- Burdorf, A. and Sorock, G., 1997. Positive and Negative Evidence of Risk Factors for Back Disorders. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*. 23, 243-256.
- CEN/Tr/15172-1, 2005 E. Whole-body vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: Engineering methods by design of machinery. CEN/TC231, Brussels (B).
- 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).
- 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.
- Donati, P. and Patel, J. A., 1999. Subjective assessment of fork-lift truck seats under laboratory conditions. *Applied Ergonomics*. 30, 295-309.
- 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.
- Hansson, P.-A., 1995. Optimization of agricultural tractor cab suspension using the evolution method. *Computers and Electronics in Agriculture*. 12, 35-49.
- Hinz, B., Seidel, H., Menzel, G. and Bluthner, R., 2002. Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 265-282.
- Hostens, I. and Ramon, H., 2003. Descriptive analysis of combine cabin vibrations and their effect on the human body. *Journal of Sound and Vibration*. 266, 453-464.
- Hoy, J., Mubarak, N., Nelson, S., Sweerts de Landas, M., Magnusson, M., Okunribido, O. and Pope, M., 2005. Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. *Journal of Sound and Vibration*. 284, 933-942.
- Hulshof, C. and Veldhuijzen van Zanten, B., 1987. Whole-body vibration and low-back pain. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 59, 205-220.
- Hulshof, C. T. J., Verbeek, J. H. A. M., Braam, I. T. J., Bovenzi, M. and van Dijk, F. J. H., 2006. Evaluation of an occupational health intervention programme on whole-body vibration in

- forklift truck drivers: a controlled trial. *Occupational and Environmental Medicine*. 63, 461-468.
- Huston, D. R., Johnson, C. C., Wood, M. A. and Zhao, X., 1999. Vibration attenuating characteristics of air filled seat cushions. *Journal of Sound and Vibration*. 222, 333-340.
- 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.
- Joubert, D. M. and London, L., 2007. A cross-sectional study of back belt use and low back pain amongst forklift drivers. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 37, 505-513.
- Kolich, M., Essenmacher, S. D. and McEvoy, J. T., 2005. Automotive seating: the effect of foam physical properties on occupied vertical vibration transmissibility. *Journal of Sound and Vibration*. 281, 409-416.
- Lines, J. A., Stiles, M. and Whyte, R. T., 1995. Whole body vibration during tractor driving. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. 14, 87-104.
- 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.
- Malchaire, J. B., Piette, A. and Mullier, I., 1996. Vibration exposure on fork-lift trucks. *Annals of Occupational Hygiene*. 40, 79-91.
- 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, 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, 75 pp.
- Paddan, G. S. and Griffin, M. J., 2002a. Effect of seating on exposures to whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 215-241.
- Paddan, G. S. and Griffin, M. J., 2002b. Evaluation of whole-body vibration in vehicles. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 195-213.
- Palmer, K. T., Griffin, M. J., Bendall, H., Pannett, B. and Coggon, D., 2000. Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from a national survey. *Occupational and Environmental Medicine*. 57, 229-236.
- Pope, M., Magnusson, M., Lundstrom, R., Hulshof, C., Verbeek, J. and Bovenzi, M., 2002. Guidelines for whole-body vibration health surveillance. *Journal of Sound and Vibration*. 253, 131-167.
- Pope, M. H. and Novotny, J. E., 1993. Spinal biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*. 115, 569-574.

- Rehn, B., Lundstrom, R., Nilsson, L., Liljelind, I. and Jarvholm, B., 2005. Variation in exposure to whole-body vibration for operators of forwarder vehicles - aspects on measurement strategies and prevention. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 35, 831-842.
- Rothschild, K., Spang, K. and Voss, P., 2002. Whole body vibration in mobile machinery - A pilot study of consequences of new evaluation methods. Nordtest report TR 516, Espoo, Finland, 17 pp.
- 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.
- Sherwin, L. M., Owende, P. M. O., Kanali, C. L., Lyons, J. and Ward, S. M., 2004. Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester. *Applied Ergonomics*. 35, 253-261.
- 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.
- Stayner, R. M., 2003. Whole-body vibration measurement and control of exposure. Presentation held at EU-symposium "Good practice for handling vibration exposure in EU agriculture" on September 18-19, 2003, at Danish Institute of Agricultural Engineering, Research Centre Bygholm, Horsens, DK.
- Tiemessen, I. J., Hulshof, C. T. J. and Frings-Dresen, M. H. W., 2007. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 37, 245-256.
- 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.
- Waters, T., Genaidy, A., Deddens, J. and Barriera-Viruet, H., 2005. Lower back disorders among forklift operators: An emerging occupational health problem? *American Journal of Industrial Medicine*. 47, 333-340.

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 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 m/s^2 , WBV en HAV) moet de blootstelling meteen teruggebracht worden tot onder deze waarde. Het gebruik van heftrucks 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 dagblootstelling bij gebruik van een moderne elektrische vorkheftruck tijdens met de praktijk overeenkomende omstandigheden. Tevens is nagegaan in hoeverre de bestuurder door middel van het beïnvloeden van ondergrond, rijnsnelheid, bandentype, vorkdemping of heftrucktype de eigen blootstelling kan verminderen.

Blootstellingsmetingen zijn uitgevoerd tijdens rechtuit rijden en tijdens een laden en lossen taak. De trillingen zijn volgens voorschrift (ISO-2631-1, 1997 en ISO-5349-1, 2001) gemeten op de stoelzitting en aan het stuur. Bovendien zijn trillingen van het chassis aan de stoelbasis gemeten om de effectiviteit van demping van de stoel (SEAT) te bepalen. Alle trillingen zijn per meetpunt bepaald in 3 richtingen X (voor-achter; a_{wx}), Y (zijwaarts; a_{wy}), en Z (verticaal; a_{wz}). De data zijn tijdens de metingen on-line digitaal weergegeven en opgeslagen en off-line verwerkt. De invloed van chauffeur ($n=2$), bandentype (massief, $n=2$: hard of zacht rubber), heftruck (elektrisch, modern in de medium vermogen klasse: 2 vierwiel en 1 driewiel), stoel (mechanisch of pneumatisch gedempt), belading (onbeladen of beladen met ongeveer 1100 kg) en vorkdemping (aan of uit) op de trillingen is bepaald tijdens normaal rechtuit rijden op constante snelheid (3 categorieën: 4, 9 en 14 km/uur) over 3 verschillende ondergronden (asfaltweg, cementvloer en Stelcon platen). Voor een interpretatie van de meetdata naar dagblootstellingen is ervan uit gegaan dat de taak normaal gesproken gedurende een volledige werkdag van 8 uren plaatsvindt.

Het rustig uitvoeren van een laad- en lostaak op een gladde vloer bleef bij gebruik van modern materieel onder de actiewaarde voor zowel lichaamstrillingen (mediane a_{wx} over alle heftrucks $0.23\text{-}0.29 \text{ m/s}^2$) als hand-arm trillingen (mediane $a_{hv} = 0.75\text{-}0.82 \text{ m/s}^2$). Haastige uitvoering van de taak leidde tot een aantoonbaar verhoogde blootstelling: mediane a_{wx} en a_{hv} respectievelijk $0.35\text{-}0.46 \text{ m/s}^2$ en $0.98\text{-}1.26 \text{ m/s}^2$. Tijdens deze taak bleek de voor-achterwaarts richting de belangrijkste trillingsrichting voor lichaamstrillingen. De blootstelling tijdens rechtuit rijden was vooral afhankelijk van de mate van (on)gelijkheid van de ondergrond in combinatie met de rijnsnelheid. Over gladde ondergrond (asfalt of cementvloer) bleef de blootstelling in het gehele onderzochte snelheidsbereik onder de actiewaarde. Hierbij was verticaal de belangrijkste trillingsrichting. Bij meer ruwe ondergrond, in dit onderzoek Stelcon platen, werd de actiewaarde voor zowel lichaamstrillingen als hand-arm trillingen bij rijnsnelheden van 9 km/uur en 14 km/uur

overschreden (mediane a_{wz} over alle heftrucks respectievelijk $0.36 - 0.71 \text{ m/s}^s$ en $0.43 - 0.84 \text{ m/s}^s$; mediane a_{hv} respectievelijk $1.36 - 2.57 \text{ m/s}^s$ en $2.48 - 5.58 \text{ m/s}^s$).

Om de blootstelling te verminderen moet vooral worden gedacht aan het vlakken van de ondergrond en/of het verlagen van de rijnsnelheid. Het monteren van massieve zacht rubber banden, het meevoeren van belading en het aanbrengen van een demper op het hefmechanisme van de vork bleek maar een beperkt effect te sorteren. Geavanceerde dempingstechniek van de vooras, zoals toegepast in één van de heftrucks, lijkt perspectiefvol en bleek de trillingsemissie van de heftruck en de trillingsblootstelling te verminderen. Of dit onder alle omstandigheden zo is, zal uit nader onderzoek onder bredere praktijkomstandigheden moeten blijken. Geconstateerd moet worden dat op de bewuste heftruck tevens een andere stoel was gemonteerd, die mogelijk ook van invloed was op de gemeten blootstelling.

De metingen toonden aan dat de demping van de gemonteerde stoel goed moet worden afgestemd op die van de heftruck. Terwijl de SEAT waarde van alle stoelen minder dan 100% was, leverden de pneumatisch gedempte stoelen een aanzienlijk hogere blootstelling ten opzichte van de standaard mechanisch gedempte stoelen. Aanbevolen wordt, om de juiste stoelkeuze te vergemakkelijken, dat de heftruckfabrikant gegevens beschikbaar stelt over de dominante trillingsfrequentie van de heftruck onder uiteenlopende omstandigheden en bij gebruik van verschillende typen banden en dat bij een stoel informatie wordt verstrekt over de afsnijfrequentie bij verschillende lichaamsgewichten en werkruimte van de stoel. De afsnijfrequentie van de stoel dient in ieder geval lager te zijn dan de dominante emissiefrequentie van de heftruck.

Bijlagen

Bijlage A: meetwaarden heftruck-stoel combinaties bij variatie ondergrond en snelheid

*Tabel A-1: Combinatie A: heftruck 1 met standaard mechanisch gedempte stoel. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaal tijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. De data met en zonder voordekking in beladen situatie zijn steeds samengevoegd. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van cementvloer (zelfde snelheid).*

Combinatie A		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a_{wx}			a_{wy}			a_{wz}			a_{hv}				
ondergrond	S	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	(n)	(sec)
asfaltweg (beladen + onbeladen)	4	.08	.06	.10	.12	.09	.14	.21*	.18	.25	.51	.41	.54	6	432
	9	<u>.14</u>	.13	.16	<u>.17*</u>	.14	.18	<u>.34</u>	.32	.39	<u>.75</u>	.71	.94	6	372
	14	<u>.17*</u>	.16	.20	<u>.24*</u>	.20	.25	<u>.40</u>	.36	.44	<u>1.00</u>	.90	1.03	6	258
Stelcon platen (onbeladen)	4	.20	.20	.20	.16	.16	.17	.36	.35	.37	.93	.92	.94	2	123
	9	.34	.30	.37	.27	.26	.28	.50	.49	.51	2.03	1.80	2.27	2	91
	14	.50	.50	.50	.35	.35	.35	.65	.65	.65	5.24	5.00	5.48	2	53
Stelcon platen (beladen)	4	.19	.18	.21	.16	.16	.17	.35	.34	.37	.83	.80	.92	4	256
	9	.31	.27	.33	.25	.23	.26	.49	.47	.53	1.48	1.39	1.75	4	191
	14	.43	.42	.45	.29	.26	.34	.58	.56	.62	2.91	2.68	3.17	4	123
Stelcon platen (beladen+onbel.)	4	.20**	.18	.21	.16**	.16	.17	.35**	.34	.37	.88**	.80	.94	6	379
	9	<u>.31**</u>	.27	.37	<u>.26#</u>	.23	.28	<u>.49**</u>	.47	.53	<u>1.64**</u>	1.39	2.27	6	282
	14	<u>.44**</u>	.42	.50	<u>.33#</u>	.26	.35	<u>.61**</u>	.56	.65	<u>3.09**</u>	2.68	5.48	6	176
cementvloer na dilatatievoeg (beladen+onbel.)	4	.08	.07	.10	.12	.12	.14	.18	.16	.24	.49	.46	.60	6	223
	9	<u>.15</u>	.13	.17	<u>.20</u>	.18	.27	<u>.36</u>	.32	.41	<u>.83</u>	.74	.97	6	123
	14	<u>.27</u>	.22	.32	<u>.29</u>	.25	.44	<u>.43</u>	.39	.48	<u>1.13</u>	.92	1.29	6	64

*Tabel A-2: Combinatie B: heftruck 1 met pneumatisch gedempte stoel. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. De data met en zonder vorkdemping in beladen situatie zijn steeds samengevoegd. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van cementvloer (zelfde snelheid).*

Combinatie B		WBV									HAV			meting (n)	tijd (sec)
Trillingsmeting:		a_{wx}			a_{wy}			a_{wz}			a_{hv}				
ondergrond	S	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max		
asfaltweg (beladen + onbeladen)	4	.07	.06	.09	.12	.11	.14	.19	.14	.24	.51*	.44	.70	5	306
	9	<u>.12</u>	.11	.13	<u>.17</u>	.17	.20	<u>.34</u>	.31	.38	<u>.96</u>	.66	1.10	5	335
	14	.15	.14	.17	.23	.23	.26	.42	.38	.46	1.10	1.00	1.23	4	158
Stelcon platen (onbeladen)	4	.19	.16	.22	.18	.18	.18	.47	.37	.56	.96	.76	1.16	2	117
	9	.31	.29	.33	.28	.28	.29	.75	.61	.88	2.02	1.94	2.09	2	99
	14	.40	.38	.42	.38	.34	.42	.97	.79	1.15	3.59	3.29	3.89	2	67
Stelcon platen (beladen)	4	.20	.18	.22	.19	.18	.20	.48	.42	.57	.94	.89	.99	4	213
	9	.27	.27	.33	.27	.23	.28	.66	.61	.79	1.72	1.49	2.11	4	164
	14	.38	.38	.43	.34	.30	.36	.81	.69	.92	2.98	2.81	3.11	4	90
Stelcon platen (beladen+onbel.)	4	.20 [#]	.16	.22	.19 ^{**}	.18	.20	.48 ^{**}	.37	.57	.94 ^{**}	.76	1.16	6	330
	9	<u>.28^{**}</u>	.27	.33	<u>.28^{**}</u>	.23	.29	<u>.66^{**}</u>	.61	.88	<u>1.90^{**}</u>	1.49	2.11	6	263
	14	<u>.38[*]</u>	.38	.43	<u>.35</u>	.30	.42	<u>.82[*]</u>	.69	1.15	<u>3.07[*]</u>	2.81	3.89	6	157
cementvloer na dilatatievoeg (beladen+onbel.)	4	.10	.07	.21	.14	.12	.17	.18	.14	.28	.66	.60	1.15	5	148
	9	.13	.11	.14	<u>.17</u>	.16	.24	<u>.32</u>	.28	.34	.81	.60	1.46	5	106
	14	<u>.25</u>	.24	.27	<u>.34</u>	.26	.40	<u>.52</u>	.39	.61	<u>1.43</u>	.98	1.77	5	56

*Tabel A-3: Combinatie C: heftruck 2 met standaard mechanisch gedempte stoel. Rms-meetwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. De data met en zonder vorkdemping in beladen situatie zijn steeds samengevoegd. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van cementvloer (zelfde snelheid).*

Combinatie C		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a_{wx}			a_{wy}			a_{wz}			a_{hv}				
ondergrond	S	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	(n)	(sec)
asfaltweg (beladen + onbeladen)	4	.06	.05	.09	.09*	.07	.10	.14	.12	.19	.46*	.38	.51	6	346
	9	<u>.10*</u>	.08	.13	<u>.14*</u>	.11	.16	<u>.22</u>	.21	.25	<u>.63*</u>	.59	.69	6	319
	14	<u>.13</u>	.11	.17	<u>.19*</u>	.17	.21	<u>.26</u>	.22	.30	<u>.89</u>	.80	1.04	6	191
Stelcon platen (onbeladen)	4	.20	.20	.20	.17	.17	.18	.26	.26	.26	.88	.83	.93	2	104
	9	.31	.28	.33	.25	.24	.26	.38	.35	.40	1.56	1.38	1.75	2	118
	14	.45	.43	.46	.37	.36	.38	.45	.44	.46	2.80	2.77	2.83	2	87
Stelcon platen (beladen)	4	.17	.16	.18	.18	.16	.21	.24	.22	.26	.81	.70	.82	4	244
	9	.27	.25	.29	.25	.23	.27	.34	.30	.37	1.33	1.16	1.41	4	199
	14	.40	.37	.42	.34	.33	.34	.39	.36	.45	2.35	2.11	2.48	4	138
Stelcon platen (beladen+onbel.)	4	.18**	.16	.20	.17**	.16	.21	.25**	.22	.26	.82**	.70	.93	6	349
	9	<u>.28**</u>	.25	.33	<u>.25#</u>	.23	.27	<u>.36**</u>	.30	.40	<u>1.37**</u>	1.16	1.75	6	317
	14	<u>.41**</u>	.37	.46	<u>.34#</u>	.33	.38	<u>.43**</u>	.36	.46	<u>2.48**</u>	2.11	2.83	6	225
cementvloer na dilatatievoeg (beladen+onbel.)	4	.07	.06	.10	.14	.11	.20	.13	.12	.18	.53	.50	.72	6	167
	9	<u>.12</u>	.10	.13	<u>.27</u>	.16	.30	<u>.23</u>	.20	.24	<u>.79</u>	.59	.97	6	91
	14	<u>.23</u>	.15	.35	<u>.32</u>	.26	.48	<u>.29</u>	.24	.30	1.03	.88	1.26	5	39

*Tabel A-4: Combinatie D: heftruck 3 met standaard mechanisch gedempte stoel. Rms-meetwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. De data met beide bandtypen zijn steeds samengevoegd. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van cementvloer (zelfde snelheid).*

Combinatie D		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a_{wx}			a_{wy}			a_{wz}			a_{hv}				
ondergrond	S	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	(n)	(sec)
asfaltweg (beladen + onbeladen)	4	.08*	.06	.12	.13*	.10	.18	.25	.21	.26	.69*	.52	.92	8	382
	9	<u>.22</u>	.14	.26	<u>.17*</u>	.12	.23	<u>.42</u>	.40	.46	<u>1.21</u>	.85	1.47	8	221
	14	.19*	.15	.21	<u>.23*</u>	.15	.25	<u>.52</u>	.45	.57	<u>1.56*</u>	1.21	1.80	8	229
Stelcon platen (onbeladen)	4	.18	.16	.19	.26	.21	.28	.36	.32	.39	1.28	1.24	1.60	4	155
	9	.32	.31	.34	.31	.26	.37	.51	.45	.54	2.81	2.56	3.10	4	85
	14	.38	.37	.38	.36	.32	.41	.60	.51	.64	5.49	4.99	6.09	4	103
Stelcon platen (beladen)	4	.22	.20	.22	.22	.19	.22	.37	.35	.40	1.19	.88	1.29	4	157
	9	.36	.30	.37	.30	.27	.32	.47	.46	.54	2.10	1.90	2.37	4	80
	14	.41	.39	.43	.31	.30	.36	.54	.51	.58	3.45	2.77	3.76	4	100
Stelcon platen (beladen+onbel.)	4	.20**	.16	.22	.22**	.19	.28	.36**	.32	.40	1.26**	.88	1.60	8	312
	9	<u>.33**</u>	.30	.37	<u>.31#</u>	.26	.37	<u>.48**</u>	.45	.54	<u>2.46**</u>	1.90	3.10	8	166
	14	<u>.39**</u>	.37	.43	<u>.33#</u>	.30	.41	<u>.57**</u>	.51	.64	<u>4.38**</u>	2.77	6.09	8	203
cementvloer na dilatatievoeg (beladen+onbel.)	4	.10	.07	.16	.19	.15	.23	.22	.19	.30	.62	.45	.78	8	131
	9	<u>.23</u>	.15	.28	<u>.26</u>	.19	.32	<u>.42</u>	.37	.47	<u>1.05</u>	.61	1.59	8	77
	14	.26	.22	.29	<u>.36</u>	.31	.48	<u>.51</u>	.42	.60	<u>1.82</u>	1.36	2.31	8	91

*Tabel A-5: Combinatie E: heftruck 3 met pneumatisch gedempte stoel. Rms-metwaarden (in m/s^2) als mediaan (med), maximum (max) en minimum (min) over 2 personen voor lichaamstrillingen (WBV; assen: a_{wx} , a_{wy} en a_{wz}) en hand-arm trillingen (HAV; vectorsom over de drie assen: a_{hv}) voor het rijden over verschillende ondergronden en bij verschillende snelheden (S). Per rij is in de laatste twee kolommen tevens aangegeven op hoeveel meetseries de meetwaarden berusten (n, in voorlaatste kolom) en wat de totaaltijd (in seconden) van de gehele set waarnemingen is geweest. De data met beide bandtypen zijn steeds samengevoegd. De onderstreepte waarden zijn significant verschillend ten opzichte van de voorafgaande snelheidscategorie. #: significant verschillend van asfaltweg (zelfde snelheid). *: significant verschillend van cementvloer (zelfde snelheid).*

Combinatie E		WBV									HAV			meting	tijd
Trillingsmeting:		a_{wx}			a_{wy}			a_{wz}			a_{hv}				
ondergrond	S	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	(n)	(sec)
asfaltweg (beladen + onbeladen)	4	.07*	.06	.10	.14*	.10	.17	.21*	.17	.27	.76	.56	.81	8	342
	9	<u>.20</u>	.17	.24	<u>.20*</u>	.11	.21	<u>.44</u>	.33	.49	<u>1.32*</u>	1.00	1.58	8	178
	14	.18*	.14	.21	<u>.21*</u>	.17	.31	<u>.61</u>	.50	.66	<u>1.69*</u>	1.30	1.83	8	236
Stelcon platen (onbeladen)	4	.16	.15	.19	.25	.20	.33	.43	.39	.46	1.30	1.22	1.42	4	151
	9	.33	.27	.33	.32	.24	.32	.72	.70	.72	2.99	2.54	3.86	4	77
	14	.33	.31	.36	.37	.33	.46	.87	.81	.98	5.76	5.58	6.28	4	95
Stelcon platen (beladen)	4	.19	.17	.19	.22	.21	.27	.46	.44	.47	1.14	1.12	1.56	3	110
	9	.36	.31	.38	.27	.25	.36	.65	.64	.76	2.47	2.02	3.76	3	61
	14	.38	.36	.40	.33	.31	.34	.80	.76	.84	3.78	3.25	4.16	3	74
Stelcon platen (beladen+onbel.)	4	.17**	.15	.19	.23**	.20	.33	.44**	.39	.47	1.30**	1.12	1.56	7	260
	9	<u>.33**</u>	.27	.38	<u>.31#</u>	.24	.36	<u>.71**</u>	.64	.76	<u>2.57**</u>	2.02	3.86	7	138
	14	<u>.36**</u>	.31	.40	<u>.34**</u>	.31	.46	<u>.84**</u>	.76	.98	<u>5.58**</u>	3.25	6.28	7	169
cementvloer na dilatatievoeg (beladen+onbel.)	4	.09	.07	.11	.18	.15	.20	.20	.16	.23	.68	.50	.86	8	144
	9	<u>.22</u>	.16	.28	<u>.29</u>	.23	.35	<u>.40</u>	.36	.47	<u>1.11</u>	.84	1.29	8	77
	14	.22	.19	.28	<u>.42</u>	.36	.54	<u>.61</u>	.51	.83	<u>1.99</u>	1.39	2.56	8	89

Bijlage B: meetwaarden van de blootstellingen bij verschillende bewerkingen

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

Forklift truck A: loading and unloading of cubic metre boxes over flat surface

pace	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)
steady	x	1090	-	0.226	1.84	2.69	2.11	0.07	28800	4.96	0.14
	y			0.171	0.748	1.28	2.11			3.45	
	z			0.149		1.32	1.43			3.56	
hasty	x	706	-	0.354		2.29	3.44	0.11	28800	6.88	0.22
	y			0.299	1.144	1.94	3.01			5.84	
	z			0.237		1.70	1.73			5.13	

Forklift truck B: loading and unloading of cubic metre boxes over flat surface

pace	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)
steady	x	472	-	0.288		2.14	3.23	0.05	28800	5.98	0.18
	y			0.228	0.819	1.77	2.60			4.94	
	z			0.167		1.36	1.57			3.80	
hasty	x	803	-	0.341		2.32	3.53	0.11	28800	6.75	0.22
	y			0.287	0.975	1.97	3.06			5.74	
	z			0.232		1.83	2.12			5.31	

Forklift truck C: loading and unloading of cubic metre boxes over flat surface

pace	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)
steady	x	1140	-	0.279		2.49	3.76	0.08	28800	6.64	0.16
	y			0.179	0.747	1.34	2.28			3.58	
	z			0.118		0.93	1.16			2.49	
hasty	x	820	-	0.457		3.16	5.04	0.11	28800	9.15	0.23
	y			0.299	1.120	2.09	3.07			6.05	
	z			0.179		1.34	1.84			3.87	

Forklift truck E: loading and unloading of cubic metre boxes over flat surface

pace	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)
steady	x	983	-	0.255		1.82	2.56	0.09	28800	5.08	0.17
	y			0.200	0.808	1.48	2.42			4.12	
	z			0.147		1.48	1.82			4.10	
hasty	x	756	-	0.380		2.62	4.08	0.12	28800	7.75	0.25
	y			0.358	1.255	2.45	3.48			7.23	
	z			0.243		1.90	2.20			5.61	

