

*Rapport*

**Blootstelling aan trillingen van chauffeurs  
van heftrucks bij intern transport van  
kalkzandsteenproducten**

*Measurement of the daily exposure to whole-body  
vibration during internal transportation of sand-  
lime brick using forklift trucks*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2011-1101 (definitief: februari 2012)





*Rapport*

**Blootstelling aan trillingen van chauffeurs  
van heftrucks bij intern transport van  
kalkzandsteenproducten**

*Measurement of the daily exposure to whole-body  
vibration during internal transportation of sand-  
lime brick using forklift trucks*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2011-1101 (definitief: februari 2012)

# Colophon

## About ErgoLab Research B.V.

**‘Knowledge works better’**

ErgoLab Research was established in 2006 out of Wageningen University & Research Centre (Wageningen UR). ErgoLab Research aims to transfer and apply specialist knowledge and skills in the area of work and health to working people, government, educational institutions and society in a understandable way, by testing, training, consultancy measurements, research and coaching. Know-how and skills have been developed in more than 23 years of experience in fundamental and applied research. The area is broad and covers labour and labour conditions, engineering and technology, physiology, health behaviour, and physical load, sports and health.

In the area of human vibration evaluation and technology, ErgoLab Research has conducted earlier investigations and consultancy measurements. Their reports can be downloaded from [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu), e.g.:

- Measurement of the daily exposure to whole-body vibration during internal transportation using forklift trucks (2010)
- Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using forklift trucks (2007)
- Exposure to whole-body vibration and effectiveness of chair damping in high-power agricultural tractors having different damping systems in practice (2009)

---

Title	Blootstelling aan trillingen van chauffeurs van heftrucks bij intern transport van kalkzandsteenproducten
Author(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Report number	2010-1101
ISBN-number	
Date of publication	November 2011 (definitief: februari 2012)
Confidentiality	
Project code	
Price	-
Publisher	ErgoLab Research B.V. Alexanderweg 56 NL-6721 HH Bennekom
Telephone	+31 6 140 242 14
E-mail	<a href="mailto:huub.oudevrielink@ergolabresearch.eu">huub.oudevrielink@ergolabresearch.eu</a>
Internet	<a href="http://www.ergolabresearch.eu">www.ergolabresearch.eu</a>

© 2011 ErgoLab Research B.V.

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.

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.

## Samenvatting

Bij de kalkzandsteenfabriek XX te YY worden bouwblokken en stenen geproduceerd en opgeslagen. Een deel van het materiaal wordt specifiek voor klanten bewerkt in de zagerij. Tijdens het productieproces vinden verschillende transporthandelingen plaats met heftrucks: (1) afvoeren van gezaagde stukken uit de zagerij naar de opslag, (2) uitsorteren van beschadigde bouwblokken, (3) uitslepen van karren met bouwblokken uit de autoclaven, (4) aanvoeren van bouwblokken naar de zagerij, en (5) leegmaken de karren en vervoeren van de blokken naar de opslag. De taken 1, 4 en 5 worden nagenoeg de gehele werkdag uitgevoerd door vaste chauffeurs; de taken 2 en 3 vragen minder dan een half uur per werkdag. In het kader van continue aandacht voor verbetering van de arbeidsomstandigheden is ErgoLab Research B.V. door Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V. te Maastricht gevraagd metingen te verrichten om de hoogte van de dagelijkse trillingsblootstelling van de heftruckchauffeurs vast te stellen en te vergelijken met de wettelijke norm van  $0.5 \text{ m/s}^2$ , waarboven maatregelen moeten volgen.

Metingen hebben plaatsgevonden volgens de ISO voorgeschreven regels. In totaal vier chauffeurs zijn tijdens de vijf bovenbeschreven taken betrokken. De metingen zijn verricht aan twee verschillende heftrucks: een lichte Hyster 4.0 Fortens (taak 1; 2 chauffeurs) en een zwaardere Hyster 8.00 (overige taken; 2 chauffeurs).

De uitkomsten laten zien dat de trillingsblootstelling tijdens alle taken onder de wettelijke norm blijft. Ook schokken spelen geen belangrijke rol. Taak 1, met een gemiddelde waarde van  $0.495 \text{ m/s}^2$  in de voor-achterwaarts richting, geeft de hoogste blootstelling. Dit blijkt vooral te worden veroorzaakt door het vaak en stevig accelereren en afremmen en wisselen van rijrichting tijdens het laden en wegzetten van pallets met gezaagde blokken.

De lichtere heftruck Hyster 4.0 van taak 1 blijkt een hogere blootstelling te geven dan de zware Hyster 8.00. Om deze reden kan bij vervanging van de huidige heftrucks gedacht worden ook voor taak 1 een zwaardere heftruck in te zetten. Overwogen kan worden om deze dan te combineren met een stoel die ook in het horizontale vlak dempt, mits dit technisch haalbaar is. De huidig gemonteerde stoelen blijken vooral in het verticale vlak de trillingen effectief te dempen.

Hoewel strikt genomen geen onmiddellijke maatregelen noodzakelijk zijn kan in de toekomst – naast bovenstaande – aan de volgende zaken worden gedacht om de trillingsblootstelling naar een nog lager niveau te brengen: (a) het onder de aandacht brengen en stimuleren van een meer beheerst rijgedrag tijdens het oppakken en wegzetten van stapels en pallets, (b) het monteren van een acceleratiebegrenzer in de heftrucks (mits geaccepteerd door de chauffeurs), (c) het tijdig repareren van beschadigde delen van het opslagterrein waarover gereden wordt.

Tot slot wordt sterk aanbevolen aandacht te schenken aan het volhouden van een juiste werkhouding tijdens het transporteren van de blokken. Geobserveerd is dat de chauffeurs relatief veel werken in een gedraaide werkhouding tijdens het achteruit rijden. Dit zal, zeker in combinatie met de (relatief lichte) trillingen, hebben bijgedragen aan het ontstaan van lichamelijke klachten in de nek en rug, waarover meerdere chauffeurs rapporteerden.



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	<b>Introductie en probleem</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Materialen, methode en procedure</b>	<b>11</b>
2.1	Chauffeurs	11
2.2	Heftrucks	11
2.3	Taken	12
2.4	Meetinstrumenten en procedure	13
2.5	Data verwerking	14
2.5.1	Presentatie van de data en statistiek	16
<b>3</b>	<b>Resultaten en bespreking</b>	<b>17</b>
3.1	Taken	17
3.2	Deeltaken	18
3.3	Rijsnelheid	19
3.4	Stoeldemping	20
3.5	Dagelijkse blootstellingstijd en eventuele maatregelen	21
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>23</b>
<b>Bijlagen</b>		<b>25</b>
A:	meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken	25





# 1 Introductie en probleem

Bij de kalkzandsteenfabriek XX te YY, onderdeel van de internationaal opererende ZZ groep, worden kalkzandsteen bouwblokken en stenen geproduceerd. De geproduceerde materialen vinden ten dele hun weg naar de klanten in onbewerkte vorm. Een ander deel van het materiaal wordt specifiek voor een klant eerst bewerkt in de zagerij. Tijdens het productieproces vinden verschillende transporthandelingen plaats die met behulp van heftrucks worden uitgevoerd:

- Uitslepen uit autoclaaf: het uittrekken van de karren met bouwblokken uit de autoclaven;
- Leegmaken karren: het transporteren van onbewerkte bouwblokken vanaf de karren naar het opslagterrein (het tasveld);
- Vullen zagerij: het transporteren van onbewerkte bouwblokken volgens order naar de invoerbanden van de zagerij;
- Passtukken uit zagerij naar tasveld: het transporteren van bewerkte blokken vanaf de afvoerbanden van de zagerij naar het opslagterrein;
- Sorteren: het uitsorteren van beschadigde bouwblokken op het opslagterrein en de afvoer ervan naar een verzamelpunt.

Het transport van de bewerkte en onbewerkte producten naar de klanten gebeurt middels vrachtwagens met vaste laadkraan, en wordt door de chauffeur van de vrachtwagen zelf gedaan.

Het terrein dat door de heftrucks bereden wordt is ten dele vlak geasfalteerd. Ten dele ook bestaat deze uit een betonklinker bestrating. De overgang tussen asfalt en betonklinker is op enkele plaatsen ongelijk en beschadigd. Dit geldt tevens voor enkele plaatsen van het betonklinkergedeelte. De ondergrond bij de zagerij bestaat uit betonklinkers. Bij de autoclaven bestaat de ondergrond uit een gladde betonvloer, waarin rails voor de karren zijn gelegd. Dit betekent dat het aan- en wegrijden dwars op de railrichting met trillingen gepaard kan gaan. De ondergrond waar de karren worden leeggehaald bestaat uit vlak gelegde zogenaamde Stelcon betonplaten. Behoudens de genoemde beschadigingen oogt het terrein vlak.

Voor de genoemde interne transportwerkzaamheden wordt binnen het bedrijf gewerkt met meerdere Hyster dieselheftrucks. Hiervan zijn er twee typen in gebruik. Twee oudere en kleinere 4.0 Fortens heftrucks met vaste chauffeur die uitsluitend de bewerkte blokken vanuit de zagerij naar het opslagterrein transporteren. Meerdere recente 8.00 heftrucks die alle de overige bovengenoemde werkzaamheden uitvoeren. De laatstgenoemde heftrucks zijn voorzien van een Sears luchtgeveerde stoel en rijden op volrubber Solideal banden (aan de voorzijde zijn 2x2 banden aangebracht). De kleine heftrucks zijn voorzien van een mechanisch geveerde Sears stoel en rijden op volrubber Bergougnan banden.

De afstand waarover gereden wordt is variabel, afhankelijk van de plaats op het tasveld en de aan- of uitvoerband van de zagerij. De chauffeurs voeren de gehele werkdag (i.e. 8 uur, inclusief

reguliere pauzes) de bovenbeschreven werkzaamheden uit. Dit betekent dat de twee vaste chauffeurs van de kleine heftrucks de gehele dag zorgen voor de afvoer van bewerkte producten naar het opslagterrein. Vanuit het bedrijf is aangegeven dat deze chauffeurs ongeveer 7 uur per dag op de heftruck rijden. De overige chauffeurs bedienen de grote heftrucks, maar ook bij hen is een taakverdeling aanwezig. Enkele vaste chauffeurs dragen zorgen voor het vullen van de aanvoerbanden van de zagerij, waarbij de producten doorgaans vanaf het opslagterrein worden aangevoerd. Ook deze chauffeurs rijden ongeveer 7 uur per dag op de heftruck. Daarnaast zorgen de overige chauffeurs voor het leegmaken van de karren. Deze chauffeurs zijn ook betrokken bij het sorteren en het uittrekken uit de autoclaaf. Dit laatste gebeurt gemiddeld 4 keer per werkdag en vraagt 5 tot maximaal 10 minuten per keer. Het sorteren wordt soms met een gehele ploeg gedaan aan het einde van de werkdag, soms ook door een enkele chauffeur. Deze taak vraagt maximaal een half uur per werkdag. Het leegmaken van de karren vraagt 6 tot 6½ uur per werkdag.

Binnen het bedrijf wordt aandacht geschonken aan de arbeidsomstandigheden. Het bedrijf heeft geïnvesteerd in een heftruck-leaseprogramma, waarbij de heftrucks periodiek vervangen worden door nieuwe heftrucks. Bovendien is geïnvesteerd in het egaliseren van de ondergrond (asfalt) waarop gereden wordt. Desondanks zouden de trillingsniveaus voor de heftruckchauffeurs te hoog kunnen zijn, daarmee een risico vormen voor lichamelijke klachten. Europese en Nederlandse wetgeving definiëren namelijk maxima, dat wil zeggen actiewaarde en grenswaarde, voor de blootstelling aan lichaamstrillingen (whole-body vibration of WBV) waaraan werknemers op een werkdag mogen worden blootgesteld. De wetgeving is bedoeld om gezondheidsschade te voorkomen. Indien de actiewaarde ( $0.5 \text{ m/s}^2$ ) wordt overschreden moeten organisatorische, technische en gezondheidkundige maatregelen volgen om de blootstelling in de nabije toekomst te verminderen tot onder deze waarde. Bij overschrijding van de grenswaarde ( $1.15 \text{ m/s}^2$ ) moet de blootstelling meteen teruggebracht worden tot onder de grenswaarde. In praktijk betekent dit veelal dat de uitgevoerde werkzaamheden moeten worden onderbroken of gestopt.

Door de Onderdelencommissie van XX is gevraagd om een objectieve meting van lichaamstrillingen tijdens normale werkzaamheden. Deze moet uitwijzen wat de precieze blootstelling aan lichaamstrillingen is. ErgoLab Research B.V. is door Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V. te Maastricht gevraagd haar specifieke expertise in te zetten voor deze meting. De huidige metingen hebben als doel een schatting te geven van de dagblootstelling aan lichaamstrillingen voor de heftruckchauffeurs van de kalkzandsteenfabriek, gegeven hun normale taken en taakverdeling. Tevens is nagegaan in hoeverre een eventueel te hoge blootstelling kan worden toegeschreven aan specifiek taakonderdelen, dit om het vinden van oplossingen te vergemakkelijken. Tot slot wordt de vraag beantwoord of de op de heftrucks gemonteerde stoelen effectief zijn in het dempen van de trillingen.

## 2 Materialen, methode en procedure

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens het rijden op twee verschillende heftrucks bij vier verschillende praktijktaken. Alle metingen zijn uitgevoerd op één werkdag met ervaren medewerkers van het bedrijf tijdens hun normale werkzaamheden. Zij zijn gevraagd de taken op de voor hen normale wijze uit te voeren.

### 2.1 Chauffeurs

Metingen zijn uitgevoerd met vier vaste chauffeurs. Betrokken zijn chauffeurs met een relatief laag en relatief hoog lichaamsgewicht. De kenmerken van de chauffeurs als groep zijn weergegeven in tabel 1. Drie van hen rapporteerden lichamelijke klachten in het voorbije jaar, voornamelijk in de nek en schouders. Twee van hen gaven aan dat de klachten volgens hen veroorzaakt werden door het werk. Ieder nam vrijwillig deel aan het onderzoek en tekende een vrijwilligheidverklaring, na over aard en inhoud van de metingen geïnformeerd te zijn.

Tabel 1: Persoonskenmerken en werkervaring van de chauffeurs ( $n=4$ ). Weergegeven zijn gemiddelde en de minimum en maximum waarde.

	Leeftijd (jaren)	Lengte (cm)	Lichaams- gewicht (kg)	Ervaring heftruckwerk (jaren)	Arbeid met heftruck <sup>1</sup> (weken / jaar)	Arbeid met heftruck <sup>2</sup> (uren / week)
Gemiddelde	42	182	83	10	47	40
Minimum	29	172	70	6	47	40
Maximum	53	190	95	15	47	40

<sup>1</sup>aantal weken per jaar, zonder vakantiedagen. <sup>2</sup>d.i. inclusief reguliere pauzes.

### 2.2 Heftrucks

Het onderzoek is uitgevoerd met twee heftrucks met verbrandingsmotor op dieselbrandstof. Beide heftrucks waren van het 4-wiel type. Ze hadden een maximaal hefvermogen van 4000 en 8000 kg. In tabel 2 zijn de kenmerken van de heftrucks vermeld. Heftruck 1 was voorzien van een normale vork; heftruck 2 van een grijper waarmee meerdere lagen kalkzandsteenblokken tegelijk opgepakt konden worden.

Tabel 2: Kenmerken van de heftrucks betrokken in de meting

Hef-truck	Fabrikant type	Bouw jaar	Massa (leeg; kg)	Hefver-mogen (kg)	Bandentype, maatvoering <sup>1</sup>	Stoeltype	Stoeldemping, richting <sup>2</sup>
1	Hyster 4.0 Fortens, diesel (dichte cabine)	2011	± 6300	4000	Volrubber Bergougnan Elite XP 250-15 (v) 7.00-12 (a)	Sears Nacco	Z: m X, Y: -
2	Hyster H 8.00, diesel (dichte cabine)	2010	± 12400	8000	Volrubber Solideal Magnum dubbel 10.0-20 (v) 10.0-20 (a)	Sears	Z: p X: - Y: -

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

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

## 2.3 Taken

Gemeten zijn de volgende vijf taken. Elke taak is bemeten met 1 of 2 chauffeurs. Alle chauffeurs waren gewoon dit werk uit te voeren.

1. Passtukken uit de zagerij halen: vanaf de uitvoerbanden uit de zagerij werden pallets met gezaagde en bijeengebonden blokken getransporteerd naar de opslag. Eventueel werden twee pallets eerst gestapeld, waarna getransporteerd. De ondergrond waarover gereden werd bestond uit vrij vlak gelegde betonklinkers waarbij enkele gedeelten beschadigd en ongelijk waren. De plaatsing in de opslag gebeurde volgens schriftelijke orders. Hierbij varieerde de eenzijdig te rijden afstand tussen enkele tientallen meters en 200m. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn meerdere (12-13) cycli gemeten; de meettijd per chauffeur bedroeg 19-21 minuten. Gewerkt werd met heftruck 1.
2. Vullen van de zagerij: vanaf de opslag werden onbewerkte bouwblokken volgens schriftelijke order naar de diverse invoerbanden van de zagerij getransporteerd. Bij de opslag werden blokken als enkele of dubbele laag geklemd en meegenomen naar de invoerbanden van de zagerij. In geval van een dubbele laag werden de lagen bij de invoerband eerst neergezet, waarna deze als enkele laag op de invoerband werden geplaatst. Soms ook werden de blokken uitsluitend op de ondergrond naast de invoerband geplaatst om later op de band te worden neergezet. De te rijden eenzijdige afstand varieerde weer tussen enkele tientallen meters en 200 m. De metingen zijn verricht aan twee chauffeurs. Iedere chauffeur plaatste meerdere (7-8) stapels; de meettijd per chauffeur bedroeg 11-13 minuten. Gewerkt werd met heftruck 2.
3. Karren uit de autoclaaf trekken: nadat een autoclaaf was geopend werd de heftruck gekoppeld aan de voorste kar en werd de trein karren met daarop de kalkzandsteenblokken in rustig tempo naar buiten getrokken. Zodra de gehele trein uit de

autoclaaf was gerold werd de heftruck ontkoppeld. Bij het aan- en wegrijden werd dwars op de rails gereden. De te rijden afstand tijdens het trekken bedroeg enige tientallen meters. Gemeten is aan heftruck 2 en één chauffeur. De totale meettijd, inclusief wegrijden, bedroeg 3 minuten.

4. Sorteren: sets van meerdere blokken, waarin één of meer kapotte exemplaren aanwezig zijn stonden al apart verzameld. Aan ieder afgekeurd blok werd aan de voorzijde een speciale beugel gehangen, waardoor bij het grijpen met de heftruck alleen de afgekeurde exemplaren werden geklemd en apart konden worden gezet. Een rij van enkele tientallen meters werd zo afgewekt, waarbij de afgekeurde blokken vóór de oude rij werden geplaatst. Met een schuif gemonteerd voor de heftruck werden de afgekeurde blokken tot een gesloten rij geschoven, waarna de blokken gestapeld en afgevoerd werden naar een verzamelplaats op het terrein. Gemeten is aan heftruck 2 en één chauffeur. De totale meettijd, inclusief het ophalen van de schuif en het wegbrengen van de blokken, bedroeg 12 minuten.
5. Leegmaken van de karren: vanaf de opgestelde trein karren worden de blokken (meestal meerdere lagen tegelijk) opgepakt en gereden naar het tasveld. De afmetingen van de blokken bepalen de plek op het tasveld. Ook worden soms de blokken meteen naar de zagerij vervoerd. De te rijden eenzijdige afstand varieerde weer tussen 50 en 200 m. De metingen zijn verricht aan twee chauffeurs. Iedere chauffeur plaatste meerdere (2-8) stapels; de meettijd per chauffeur bedroeg 3-16 minuten (i.v.m. een geplande bijeenkomst kon één chauffeur maar kort gemeten worden). Gewerkt werd met heftruck 2.

Alle heftruckchauffeurs vervullen normaal gesproken bovenstaande taken gedurende de gehele werkdag. Wel is er een duidelijke taakverdeling tussen de chauffeurs: het afvoeren van blokken uit de zagerij (taak 1) wordt de gehele dag door aparte chauffeurs gedaan op heftrucks zoals heftruck 1. Een gehele werkdag betekent voor deze chauffeurs dat zij 7 uren per dag daadwerkelijk op de heftruck rijden. Ook het aanvoeren van blokken naar de zagerij wordt door aparte chauffeurs gedaan met heftrucks zoals heftruck 2. Ook zij doen dit de gehele werkdag, wat betekent dat ook zij ongeveer 7 uren per dag op de heftruck rijden. De andere chauffeurs combineren de hoofdtak "leegmaken van karren" met de kleine taken 4 en 5. Het sorteren wordt soms door de gehele ploeg gedaan aan het einde van een werkdag, soms ook door één persoon. Het uittrekken uit de autoclaaf gebeurt afwisselend. Het leegmaken van de karren vraagt 6-6½ uur per dag. Het sorteren duurt maximaal ½ uur per dag, en het trekken uit de autoclaaf maximaal ongeveer 15 minuten. Voor de interpretatie van de gemeten data naar de dagelijkse blootstelling is er vanuit gegaan dat een chauffeur hetzij taak 1, hetzij taak 6, hetzij de gecombineerde taken 7, 4 en 5 gedurende de volle werkdag uitvoert.

## 2.4 Meetinstrumenten en procedure

Procedures voor het doen van metingen van de trillingsblootstelling zijn in hoge mate gestandaardiseerd en beschreven in ISO-richtlijnen. Voor de huidige metingen zijn de richtlijnen ISO-2631-1 (1997), ISO-2631-5 (2004) en ISO-8041 (2005) van belang. Bij iedere meting werd de trillingsblootstelling gemeten op de zitting van de stoel. Bovendien werd de trillingsemisatie van

het chassis gemeten, zo dicht mogelijk bij de bevestiging van de stoelbasis. De trillingen zijn gemeten in de voorgeschreven drie richtingen: voor-achterwaarts (X), zijwaarts (Y) en verticaal (Z).

De trillingen werden gemeten met behulp van een Bruel & Kjaer stoeltrillingsopnemer 4322 PE, welke bestaat uit een 3-richtingen trillingsopnemer gefixeerd in een rubber omhulsel. De opnemer werd met bouwtape op de zitting gefixeerd (zie figuur 1), zodanig dat de zitbeenderen van de bestuurder tijdens het rijden midden boven de trillingsopnemer waren gepositioneerd. 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 op de plek van één van de bevestigingsbouten van de stoel aan de stoelbasis werd gefixeerd (zie figuur 2).

De signalen van de opnemers werden via afgeschermd kabel geleid naar twee versterkers (B&K, Nexus 2692) en een laptop computer. Filtering en verwerking van de signalen gebeurde volgens de ISO-richtlijnen met behulp van LabView en Matlab software (voor een uitgebreide beschrijving van de apparatuur en instelling wordt verwezen naar één van de rapporten trillingsmetingen op de website [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu), bijvoorbeeld “Analyse van trillingen en dempingmogelijkheden bij transportwerkzaamheden met behulp van verschillende heftrucks”). De gehele meetketen (van opnemers tot PC) is van tevoren geïjkt met behulp van een calibrator (B&K 4291). Meetversterkers zowel als PC werden tijdens de metingen gevoed met 12 V accu's.

Voor de bepaling van de exacte rijsnelheid en de positie is tijdens de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op de heftruck bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en enkele keren op de meetdag overgebracht naar de PC. Voorafgaand aan de metingen en na overbrengen van de data werd de klok van de PC gesynchroniseerd met die van de GPS ontvanger. Met behulp van de GPS registratie kon de analyse achteraf worden gestuurd. Met dit doel is tevens tijdens de metingen met behulp van een pda (iPhone 3G) een tijdregistratie bijgehouden van de verschillende taakonderdelen.

## 2.5 Data verwerking

Voor een exacte beschrijving van de stappen in het proces van dataverwerking wordt verwezen naar het rapport “Analyse van trillingen en dempingmogelijkheden bij transportwerkzaamheden met behulp van verschillende heftrucks” op de website [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu).

De trillingsblootstelling wordt uitgedrukt in de variabele  $a_w$ , met als eenheid  $m/s^2$ . Voor de beoordeling van de trillingsblootstelling wordt de hoogste waarde van de drie gemeten assen gebruikt.

De effectiviteit van de stoeldemping wordt uitgedrukt in de zogenoemde SEATrms waarde. Dit is het percentage van de trillingswaarde gemeten op de stoelzitting gedeeld door die gemeten onder de stoel aan het chassis. Een waarde 100% geeft aan dat de stoel de trillingen gewoon doorgeeft. Bij een waarde van 50% treedt er een aanzienlijke demping op.



*Figuur 1: illustratie bij de meting van lichaamstrillingen op de stoel van de heftruck: de opnemer voor trillingen is op de stoelzitting vastgezet met bouwtape.*



*Figuur 2: illustratie bij de meting van trillingen van het chassis onder de stoel van de heftruck: de opnemer voor chassisstrillingen aan de stoelbasis is vastgezet op de plaats van een stoelbout.*

Ook is de mate waarin de chauffeurs eventueel worden blootgesteld aan meervoudige schokken vastgesteld. Een eventueel negatief gezondheidseffect door de blootstelling aan schokken kan worden uitgedrukt in de dagelijkse compressie dosis  $S_{ed}$  (in MPa). Bij een dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) wordt in de ISO richtlijn 2631-5 (2004) 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.

### *2.5.1 Presentatie van de data en statistiek*

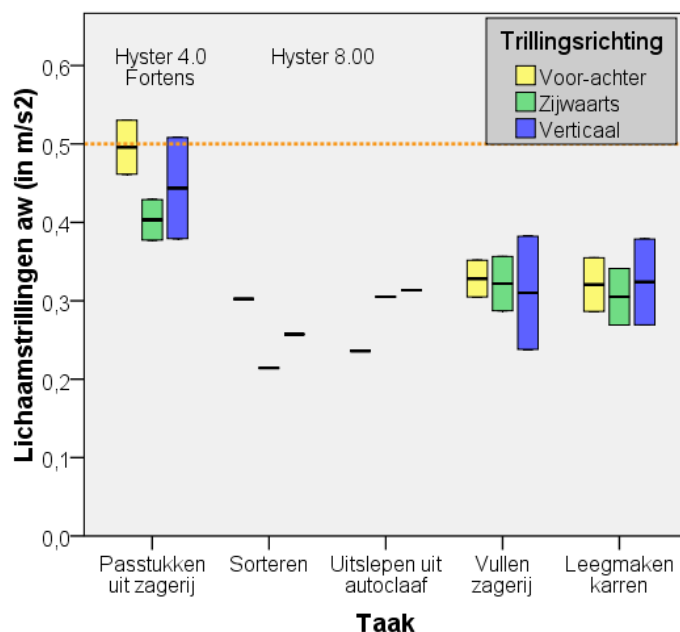
De resultaten zijn weergegeven in tabelvorm en als boxplots. Een boxplot geeft mediane (middelste) waarde en interkwartielen als box (de box omvat dus 50% van de waarnemingen) en uiterste waarden als lijnen boven en onder de box. In de figuren is door middel van een onderbroken lijn tevens het niveau van actiewaarde voor een acht-urige werkdag getoond. Gezien de beperkte omvang van de metingen zijn geen statistische berekeningen op eventuele verschillen uitgevoerd.



## 3 Resultaten en bespreking

### 3.1 Taken

Figuur 3 toont de resultaten van de metingen van de lichaamstrillingen, gemeten op de stoelzitting, voor de gemeten vijf taken. De verschillende kleuren van de boxen geven de trillingsrichtingen X, Y, of Z weer. Omdat de taken gemeten zijn aan twee personen geven de uiteinden van iedere box de meetwaarden van elk van de personen weer. De horizontale lijn in het midden van een box geeft de mediaan weer, in dit geval gelijk aan het gemiddelde van de



*Figuur 3: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$ , weergegeven voor elk van de drie as-richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts) en Z (verticaal), voor elk van de vijf gemeten taken. De oranje stippellijn geeft de actiewaarde aan. De eerste taak is gemeten aan de Hyster 4.0 Fortens heftruck; de overige aan de Hyster 8.00 heftruck.*

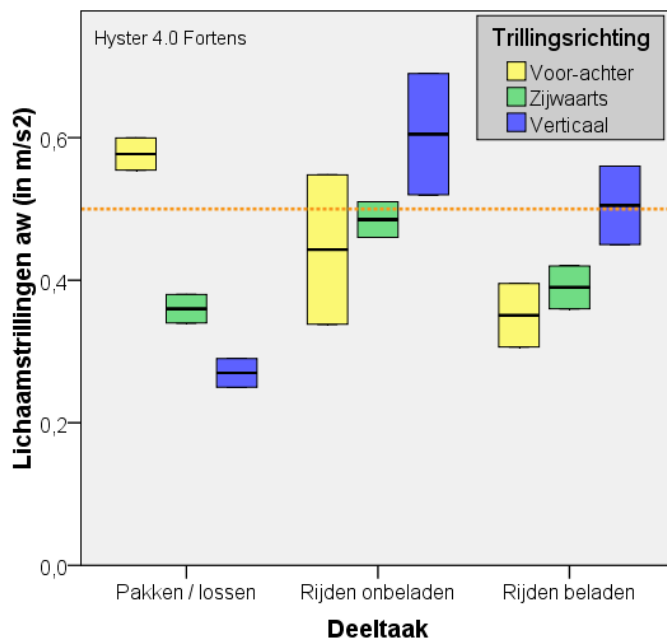
beide personen. Twee taken (sorteren en uitslepen) zijn gemeten aan één persoon: deze meetresultaten zijn weergegeven met uitsluitend horizontale lijnen. Uit de figuur blijkt dat alle taken verricht met de Hyster 8.00 heftruck ruim onder de actiewaarde van  $0.5 \text{ m/s}^2$  blijven. Dit betekent dat deze taken, uitgevoerd gedurende een werkdag van 8 uren, onder de door de EU vastgesteld gezondheidsgrens blijven. Bij de taak met de Hyster 4.0 Fortens heftruck, dit is het afvoeren van de passtukken uit de zagerij, blijken de lichaamstrillingen tegen de actiewaarde aan te liggen. Dit geldt in ieder geval voor de trillingen in de voor-achterwaarts richting, en in iets mindere mate ook voor de verticale trillingen. Ook hier geldt dat de blootstelling aan lichaamstrillingen gemiddeld juist onder de vastgestelde grens blijft. De persoon met de laagste trillingsblootstelling was degene met het hoogste lichaamsgewicht, een fenomeen dat ook in de wetenschappelijke literatuur is gerapporteerd. De mediane meetwaarden uit de figuur zijn in tabelvorm tevens weergegeven in bijlage A.

## 3.2 Deeltaken

Om meer inzicht te krijgen in de oorsprong van de hierboven gerapporteerde trillingsblootstellingen is iedere taak verdeeld in deeltaken en zijn de trillingsblootstellingen tijdens de uitgevoerde deeltaken geanalyseerd. De volgende drie deeltaken werden onderscheiden:

- het rijden zonder belading,
- het oppakken of lossen van de belading,
- het rijden met belading.

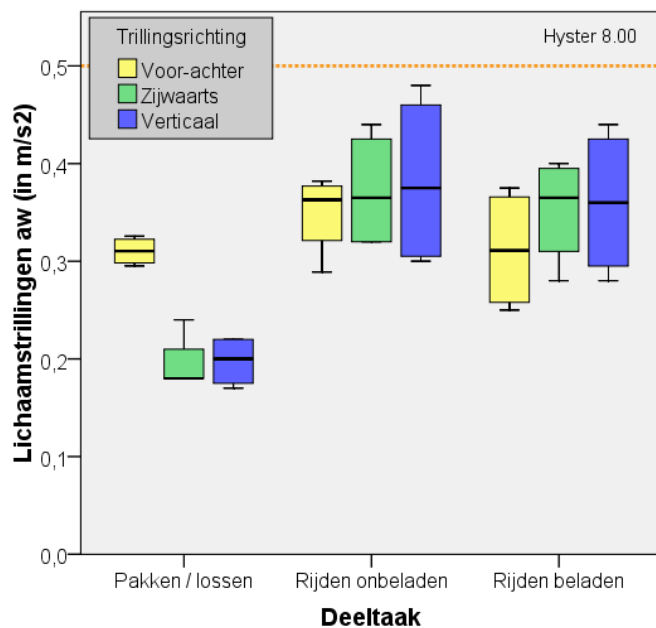
In figuur 4 zijn de resultaten van de deeltakenanalyse weergegeven voor de taak “Afvoeren van passtukken uit de zagerij”. Uit de figuur blijkt dat de relatief hoge blootstelling aan trillingen in de



*Figuur 4: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$ , weergegeven voor elk van de drie as-richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts) en Z (verticaal), voor de drie deeltaken “Pakken/lossen”, “Rijden onbeladen” en “Rijden beladen” als onderdeel van de taak “Afvoeren van passtukken uit de zagerij”. De oranje stippellijn geeft de actiewaarde aan. De taak is uitgevoerd met de Hyster 4.0 Fortens heftruck en gemeten is aan twee personen.*

voor-achterwaarts richting vooral wordt veroorzaakt tijdens het oppakken en wegzetten van de blokken, waarbij frequent en in hoog tempo wordt afgeremd en opgetrokken. Uit de figuur blijkt tevens dat tijdens het rijden, al dan niet met de blokken, de blootstelling aan verticale trillingen overheerst. Eveneens kan duidelijk worden waargenomen dat de blootstellingen voor alle trillingsrichtingen lager zijn wanneer met een lading gereden wordt. Ook dit fenomeen, een lagere trillingsblootstelling naarmate de massa van het voertuig hoger is, wordt vaak in de literatuur gerapporteerd.

Dezelfde deeltaken zijn ook geanalyseerd voor twee taken die uitgevoerd zijn met de Hyster 8.00 heftruck: het aanvoeren van blokken voor de zagerij en het leegmaken van de karren. Het resultaat van deze analyse is weergegeven in figuur 5. Ook hier wordt een hogere blootstelling in de



*Figuur 5: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$ , weergegeven voor elk van de drie as-richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts) en Z (verticaal), voor de drie deeltaken “Pakken/ lossen”, “Rijden onbeladen” en “Rijden beladen” als onderdeel van de taken “Aanvoeren van blokken naar de zagerij” en “leegmaken van karren”. De oranje stippellijn geeft de actiewaarde aan. De taak is uitgevoerd met de Hyster 8.00 heftruck en gemeten is aan twee personen.*

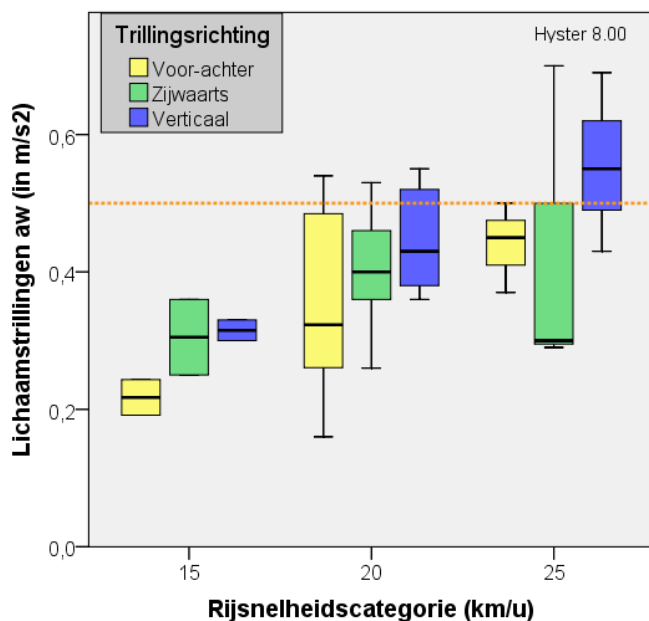
voor-achterwaarts richting gemeten tijdens het oppakken en wegzetten van de blokken. Verder blijkt dat de trillingsblootstelling tijdens het rijden niet erg verschillend is tussen de drie trillingsrichtingen. En ook hier blijkt dat de trillingsblootstelling lager is als gereden wordt met een lading blokken.

### 3.3 Rijsnelheid

Tijdens het rijden met de Hyster 8.00 heftruck bleken voldoende lange trajecten gereden te zijn waarbij de snelheid constant bleef<sup>1</sup>. Deze stukken van zijn apart geanalyseerd en de resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Voor alle trillingsrichtingen kan worden afgeleid dat de trillingsblootstelling stijgt met toenemende rijsnelheid. Uit de figuur kan de sterkste invloed worden afgeleid voor de verticale trillingen. Hierbij moet worden aangetekend dat er op de trajecten die geanalyseerd zijn met vrijwel constante snelheid en veelal rechtuit werd gereden. Hierdoor zullen horizontale trillingen, veelal veroorzaakt door het nemen van bochten en door optrekken en afremmen, relatief minder voorkomen. De figuur komt overeen met resultaten uit eerder onderzoek, waarbij een duidelijke relatie werd aangetoond tussen de blootstelling aan verticale trillingen en de rijsnelheid.

De snelheden in de figuur zijn overigens als categorie weergegeven. De werkelijk gemeten snelheden voor iedere categorie bedroegen gemiddeld respectievelijk 14.67, 19.55 en 24.94 km/uur.

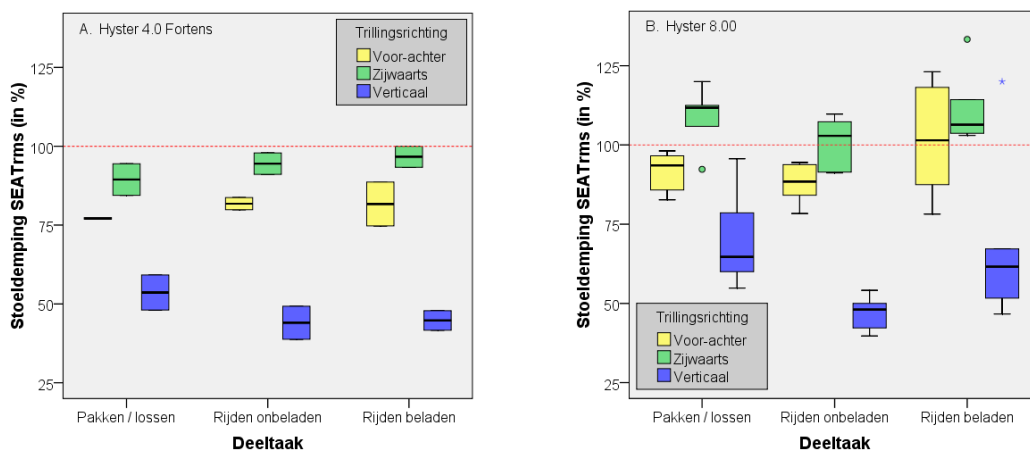
<sup>1</sup> Bij de Hyster 4.0 Fortens heftruck bleken de trajecten met constante snelheid te kort en te weinig voorkomend.



Figuur 6: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$ , weergegeven voor elk van de drie as-richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts) en Z (verticaal), tijdens het rijden met constante snelheid (in drie categorieën) bij het uitvoeren van de taken “Aanvoeren van blokken naar de zagerij” en “leegmaken van karren”. De oranje stippellijn geeft de actiewaarde aan. De taak is uitgevoerd met de Hyster 8.00 heftruck en gemeten is aan twee personen.

### 3.4 Stoeldemping

Om te bekijken in hoeverre de op de heftrucks gemonteerde stoelen effectief zijn in het dempen van de trillingen die via het chassis aan de stoel worden aangeboden zijn de trillingen gemeten aan de stoelbasis vergeleken met die gemeten op de stoelzitting. De ratio van beide, weergegeven als percentage, geeft de effectiviteit van de demping van de stoel weer en wordt uitgedrukt als variabele SEATrms. In figuur 7 is deze waarde weergegeven voor beide heftrucks tijdens de



Figuur 7: Effectiviteit van de stoeldemping SEATrms, in % en weergegeven voor elk van de drie as-richtingen X (voor-achter), Y (zijwaarts) en Z (verticaal), tijdens het uitvoeren van de deeltaken “Pakken/lossen”, “Rijden zonder belading” en “Rijden met belading”. De rode stippellijn geeft de lijn 100% aan, d.w.z. de waarde waarbij geen demping optreedt. Het linker deel geeft de resultaten voor de Hyster 4.0 Fortens, het rechter deel voor de Hyster 8.00 heftruck. De deeltaken zijn gemeten aan twee personen.

uitgevoerde deeltaken. Het resultaat laat zien dat de stoel van de Hyster 4.0 Fortens zeer effectief is in het dempen van de trillingen in de verticale richting – tijdens het rijden wordt 50-60% van de trillingen gedempt – en ook enigszins in de voor-achterwaarts richting. De stoel van de Hyster 8.00 laat tevens een effectieve demping zien voor verticale trillingen: 40-50% tijdens het rijden. Echter, de aangeboden horizontale trillingen worden nauwelijks gedempt. Wel moet hierbij worden aangetekend dat het trillingsniveau dat door het chassis worden doorgegeven aan de stoel bij deze laatste heftruck veel lager ligt, ten opzichte van de Hyster 4.0 Fortens, waardoor ook een lagere effectieve demping mag worden verwacht.

### 3.5 Dagelijkse blootstellingstijd en eventuele maatregelen

De wet schrijft voor dat de hoogste blootstellingsrichting de maximale werkduur bepaalt. Voor de taak “Afvoeren van passtukken uit de zagerij” en “Aanvoeren van blokken aan de zagerij” is dat de X-richting (voor-achterwaarts). Voor het leegmaken van karren is dat de Z-richting (verticaal). Onderstaande tabel geeft de werkduur (in uren en minuten per dag) alvorens de actiewaarde en grenswaarde worden bereikt. Duidelijk is dat bij geen enkele taak de actiewaarde wordt overschreden bij een normale werkdag van 8 uur. Dit geldt voor de gemiddeld waargenomen trillingsblootstelling.

Uit de meetresultaten zou tevens kunnen worden afgeleid dat een heftruckchauffeur met een relatief laag lichaamsgewicht tijdens het dagelijks afvoeren van passtukken uit de zagerij (taak 1) licht boven de actiewaarde kan komen. De waarde voor de voor-achterwaarts trillingsblootstelling voor deze chauffeur bedroeg  $0.53 \text{ m/s}^2$ . Deze trillingsblootstelling betekent dat de actiewaarde voor dagelijks werk na 7 uur en 7 minuten wordt bereikt. Vanuit het bedrijf is aangegeven dat de beide taken aan de zagerij gedurende maximaal 7 uur per werkdag worden uitgevoerd (de overige tijd wordt besteed aan pauzes en in- en uitstappen). Het betekent dat ook voor een chauffeur met een laag lichaamsgewicht de actiewaarde op een werkdag niet wordt overschreden.

De tabel geeft verder aan dat de grenswaarde voor alle taken bij de kalkzandsteenfabriek nooit wordt bereikt.

Bij de evaluatie van de trillingsblootstelling is niet alleen gekeken naar de door de EU vastgestelde limieten. Als alternatief is ook voorgesteld een dagelijkse trillingsdosis te berekenen. Deze wordt uitgedrukt als zogenoemde VDV. In de tabel van bijlage A is voor alle taken tevens de VDV waarde berekend, gesteld dat de taak 8 uur per dag zou worden uitgevoerd. Voor de VDV is actie gewenst op moment dat deze de waarde  $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$  zou overschrijden. De tabel laat zien dat dat voor geen enkele taak gebeurt. Ook hier benadert de X-richting tijdens het afvoeren uit de zagerij deze waarde het dichtst ( $8.95 \text{ m/s}^{1.75}$ ), maar gaat er niet over heen.

Tot slot is een evaluatie gemaakt van eventuele schokken die tijdens het werk kunnen optreden en die eventueel onvoldoende in de voorgaande analyses tot uitdrukking zouden kunnen zijn gekomen. Dit is gebeurd op grond van de ISO richtlijn 2631-5 uit 2004. Voor alle taken is hiertoe de statische compressie  $S_{\text{cd}}$  van de rug berekend. De uitkomsten zijn weergegeven in de tabel van bijlage A. Actie dient te worden ondernomen als de  $S_{\text{cd}}$  waarde, gemeten bij een jaarrond blootstelling van 240 dagen per jaar, boven de 0.5 MPa komt. Uit de tabel kan worden gelezen

dat deze waarde bij geen enkele taak wordt benaderd. Schokken zullen daarmee geen belangrijke rol spelen in de trillingsbelasting van de heftruckchauffeurs tijdens de gemeten werkzaamheden.

Tabel 3: dominante trillingsrichting ( $as$ ), trillingswaarde  $a_m$  (in  $m/s^2$ ) en maximale dagelijkse werktijd tot het bereiken van de actie- en grenswaarde (in uren) voor de taken “Afvoeren van passtukken uit de zagerij”, “Aanvoeren van blokken naar de zagerij” en “Leegmaken van karren”.

Taak	Belangrijkste trillingsrichting	Trillingswaarde taak	Werktijd tot	
			actiewaarde	grenswaarde
Afvoeren uit zagerij	X	0.495	8.16	>24
Aanvoeren naar zagerij	X	0.332	18.14	>24
Leegmaken van karren	Z	0.365	15.01	>24

De metingen laten zien dat het werk met heftrucks op de kalkzandsteenfabriek de huidige gezondheidsnormen niet overschrijdt. Het is daarom onwaarschijnlijk dat de gerapporteerde klachten van de chauffeurs uitsluitend door blootstelling aan trillingen zullen zijn veroorzaakt. Echter, tijdens de meetdag werd waargenomen dat de chauffeurs tijdens het rijden relatief veel achteruit rijden met net geladen blokken. Dit bespaart tijd (per cyclus wordt een keer stoppen, draaien en optrekken bespaard), maar vraagt tevens dat er in totaal op een werkdag gedurende lange tijd gedraaid op de stoel wordt gezeten, met een maximale draaiing voor rug en zeker voor de nek. Een dergelijke houding vormt een risico, zeker ook in combinatie met een blootstelling aan trillingen. Om lichamelijke klachten te voorkomen kan het effectief zijn aandacht te besteden aan een juiste en meer ontspannen werkhouding. Voorkomen moet worden dat tijd wordt bespaard door het innemen van een evident schadelijke werkhouding.

Indien het binnen het bedrijf wenselijk wordt ervaren ook de trillingsblootstelling te verminderen, zal vooral aandacht moeten worden besteed aan de taak “Afvoeren van passtukken uit de zagerij”, uitgevoerd met de kleinere heftrucks. Overwogen kan worden op termijn bij vervanging van de huidige heftrucks ook voor deze taak wat zwaardere heftrucks in te zetten, omdat een grotere massa van het voertuig gepaard zal gaan met een lagere trillingsblootstelling. Wel moet hierbij worden aangetekend dat dan niet de rijsnelheid moet worden vergroot, omdat met een hogere rijsnelheid gemakkelijk het gunstige effect van een grotere voertuigmassa teniet kan worden gedaan. De stoel lijkt goed afgestemd op het voertuig, zeker voor de verticale trillingen. Om de blootstelling van de trillingen in voor-achterwaarts richting te verminderen kan tevens aandacht worden besteed aan het rustiger optrekken en afremmen. Hiermee zal de blootstelling kunnen worden verminderd. Uit eerder onderzoek is namelijk gebleken dat een verhoogde bewustwording bij de chauffeurs over de gevolgen van hun rijgedrag een bijdrage levert aan het verminderen van de blootstelling aan trillingen. Ook kunnen technische maatregelen als een acceleratiebegrenzer en een ook horizontaal dempende stoel worden overwogen. Tot slot zal ook het rouleren van de chauffeurs die vooral deze taak uitvoeren over de andere taken helpen om hun blootstelling te verminderen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de metingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij de heftruckchauffeurs van kalkzandsteenfabriek XX te YY blijft de blootstelling aan trillingen tijdens de normale dagelijkse werkzaamheden (en gegeven hun normale werktijden) beneden de gezondheidkundige norm. Dit betekent dat er strikt genomen wat trillingsblootstelling betreft geen aparte maatregelen noodzakelijk zijn.
- De hoogte van de trillingsblootstelling blijkt sterk samen te hangen met de taken, maar vooral met het type heftruck. Een zwaarder type heftruck, mits deze niet sneller gaat rijden, helpt de blootstelling verlagen.
- De hoogste trillingsblootstelling vindt plaats bij het afvoeren van passtukken uit de zagerij. Hierbij is de voor-achterwaarts trillingsrichting het meest dominant. De hoge blootstelling vindt vooral zijn oorsprong tijdens het oppakken en stapelen van pallets en het wegzetten ervan, en wordt veroorzaakt door het vaak en veel voor- en achterwaarts versnellen tijdens dit deel van de taak. Aandacht bij de chauffeurs voor het rustiger en meer beheerst accelereren en afremmen zal de blootstelling kunnen verminderen. Eventueel zal dit effect met een acceleratiebegrenzer, mits deze wordt geaccepteerd door de chauffeurs, ook bereikt kunnen worden.
- De op de heftrucks gemonteerde stoelen zijn effectief in het dempen van de verticale trillingen. In het horizontale vlak is de effectiviteit veel minder. Een betere demping van de stoel in de voor-achterwaarts richting, mits dit technisch gezien mogelijk is op deze heftrucks en voor zover al niet aanwezig, zal kunnen helpen de trillingsblootstelling verder te verminderen.
- Het wordt aanbevolen aandacht te schenken aan het volhouden van een juiste werkhouding tijdens het transporteren van de blokken. Het veel werken in een gedraaide werkhouding tijdens het achteruit rijden zal, zeker in combinatie met de (relatief lichte) trillingen, hebben bijgedragen aan het ontstaan van de lichamelijke klachten in de nek en rug.
- Aanbevolen wordt verder dat beschadigde delen van de ondergrond op de overgang tussen het asfaltdek en de betonklinkers en binnen het betonklinker gebied tijdig gerepareerd worden, om onnodige schokken te voorkomen indien een chauffeur onvoldoende alert is in het ontwijken (dit kan het geval zijn indien sprake is van verhoogde werkdruk). In het algemeen is voor de chauffeurs het hebben van een meldpunt voor dit type klachten is belangrijk, waarna snel afhandeling dient te volgen.





# Bijlagen

## A: meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken

Gebruikte symbolen:

- reference axis : richting van de trillingsmeting  
 $t_m$  : totale meettijd in s  
 average speed : gemiddelde rijsnelheid in km / uur  
 $a_w$  : 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-2631-5 (2004) in  $m / s^2$   
 $S_e$  : equivalent statische compressie stress volgens ISO-2631-5 (2004), 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-2631-5 (2004), in MPa
- Taak 1 : passtukken uit zagerij naar tasveld  
 Taak 2 : vullen zagerij  
 Taak 3 : uitslepen uit autoclaaf  
 Taak 4 : sorteren  
 Taak 5 : leegmaken karren

Kalkzandsteenfabriek XX											
Taak	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)
Taak 1	x	2446	7.3	0.495	-	5.84	8.09	0.19	28800	8.95	0.30
	y			0.403		4.41	5.46			6.68	
	z			0.445		5.28	7.02			7.76	
Taak 2	x	1441	7.7	0.332	-	3.39	5.17	0.17	28800	7.16	0.28
	y			0.328		3.43	4.58			7.25	
	z			0.326		3.56	4.27			7.52	
Taak 3	x	180	6.4	0.236	-	1.75	2.67	0.14	28800	6.21	0.33
	y			0.305		2.34	3.90			8.31	
	z			0.313		2.38	3.45			8.46	
Taak 4	x	747	3.4	0.302	-	2.84	4.31	0.14	28800	7.07	0.25
	y			0.214		2.08	3.78			5.19	
	z			0.257		2.30	3.00			5.74	
Taak 5	x	1159	9.1	0.346	-	3.34	5.08	0.20	28800	7.45	0.33
	y			0.332		3.35	5.11			7.49	
	z			0.365		3.62	5.27			8.09	