

*Eindrapport*

**Dagelijkse blootstelling aan  
lichaamstrillingen van chauffeurs van  
heftrucks bij intern transport van  
papierrollen**

*Daily exposure to whole-body vibration of drivers  
of forklift trucks during internal transport of paper  
rolls*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2014-1218





*Eindrapport*

**Dagelijkse blootstelling aan  
lichaamstrillingen van chauffeurs van  
heftrucks bij intern transport van  
papierrollen**

*Daily exposure to whole-body vibration of drivers  
of forklift trucks during internal transport of paper  
rolls*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2014-1218

# Colophon

## About ErgoLab Research B.V.

**‘Knowledge works better’**

ErgoLab Research was funded in 2006 and continued some Wageningen University & Research Centre (Wageningen UR) specialisms. ErgoLab Research aims to transfer specialist knowledge and academic skills in the area of work and health to working people, government, students in educational institutions, manufacturers and society in a comprehensible way, by research (measurements and testing), consultancy, training and coaching. Know-how and skills have been developed in more than 25 years of experience in fundamental and applied research, and knowledge transfer. The covered area is not restricted to labour and labour conditions (vibrations, physical load), but covers also engineering and technology, health behaviour, and academic skills in general.

In the area of human vibration evaluation and technology, ErgoLab Research has conducted a number of investigations and consultancy measurements. The reports, most of them also containing the detailed conditions and results of the measurements, can be downloaded from [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu). For forklift trucks, examples are:

- Measurement of daily exposure to whole-body vibration during transport of stapled do-it-yourself products using forklift trucks (2013)
- 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)

---

Title	Dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van heftrucks bij intern transport van papierrollen ( <i>Daily exposure to whole-body vibration of drivers of forklift trucks during internal transport of paper rolls</i> )
Author(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Report number	2014-1218
ISBN-number	
Date of publication	December 2014
Language	NL
Confidentiality	This report can be downloaded for personal use from the website of ErgoLab Research: <a href="http://www.ergolabresearch.eu">www.ergolabresearch.eu</a>
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>

© 2014 ErgoLab Research B.V.

All rights 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 verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen

## Samenvatting

Bedrijf X te Y is een grote fabrikant van verpakkingspapier en –folie. De materialen worden op rollen geproduceerd en ten dele herverpakt in kleinere eenheden, bijvoorbeeld als bedoeld voor thuisgebruik. Dit materiaal wordt verzameld op pallets. Het interne transport van de papierrollen en beladen pallets wordt met heftrucks gedaan door vaste chauffeurs die voltijds met deze taak belast zijn. Na klachten van de chauffeurs heeft de leverancier van de heftrucks, Vorktrucks Holland B.V., aan ErgoLab Research B.V. gevraagd metingen te verrichten om de hoogte van de dagelijkse trillingsblootstelling van de heftruckchauffeurs vast te stellen en te vergelijken met de wettelijke norm (d.w.z. actiewaarde en grenswaarde), en bij eventuele overschrijding te formuleren welke de meest effectieve wijzen zullen zijn om de blootstelling te verminderen.

Metingen hebben plaatsgevonden volgens ISO voorgeschreven regels. Naast de trillingen werden ook de rijnsnelheid en activiteiten geregistreerd met behulp van respectievelijk een GPS ontvanger en een mini-camera. Twee chauffeurs op twee heftrucks van hetzelfde merk en type zijn bemeaten tijdens de voor hen normale dagelijkse taken: (1) het transporteren van rollen papier van de drukkerij naar de wikkelfabrics en de opslag P2 (chauffeur 1), en (2) het intern transporteren van pallets tussen de verschillende hallen (chauffeur 2). Tevens is een derde chauffeur op een derde heftruck (van een ander merk en type) gemeten. Met het oog op het kunnen vergelijken van de meetgegevens voerde de laatste beide taken uit. Voor alle chauffeurs werd aangenomen dat de uitgevoerde taken representatief waren voor het dagelijkse werk. De dagblootstelling werd dan ook verkregen door de blootstellingen gemeten tijdens de verschillende taken te schalen naar een werkdag van 8 uur, waarvan 7¼ uur op de heftruck.

Bij alle chauffeurs werd de actiewaarde (wettelijk gesteld op  $0.5 \text{ m/s}^2$ ) overschreden. Dat betekent dat in de nabije toekomst actie moet worden ondernomen om de blootstelling aan lichaamstrillingen te verminderen. De overschrijding was beperkt voor de chauffeur van taak 1 (geschatte dagblootstelling:  $0.56 \text{ m/s}^2$ ) en betrof uitsluitend de verticale trillingen. In vergelijking met de heftruck van chauffeur 3 bleek de gemonteerde stoel de verticale trillingen nauwelijks af te zwakken: een SEAT waarde van 97% werd gemeten terwijl die voor de derde heftruck 43% bleek (een SEAT van 100% betekent dat de stoel geen afzwakking laat zien; hoe kleiner de waarde, des te sterker de afzwakking). De rijpaden van hal P2 en drukkerij droegen het sterkst bij aan de dagblootstelling. Indien de rijpaden van beide hallen goed gevlakt zouden worden zou de blootstelling voor taak 1 met de huidige heftruck 1 onder de actiewaarde komen ( $0.497 \text{ m/s}^2$ ). Echter, meer efficiënt lijkt het de gemonteerde stoel te vervangen door een die de trillingen effectief afzwakt. In te zetten op een ander merk en type heftruck lijkt tevens effectief in het verminderen van de verticale trillingsbelasting, maar introduceert mogelijk een probleem met voor-achterwaartse trillingen: chauffeur 3 overschreed in deze richting de actiewaarde (geschatte dagblootstelling:  $0.59 \text{ m/s}^2$ ). Voor deze heftruck dient een stoel met demping in de voor-achterwaarts richting te worden overwogen.

Bij taak 2 werd, in vergelijking met taak 1, met hogere snelheid gereden en getransporteerd over grotere afstanden. Bij chauffeur 2 werd een grote overschrijding van de actiewaarde geconstateerd: de geschatte dagelijkse blootstelling bedroeg  $0.91 \text{ m/s}^2$ . Ook een evaluatie op schokken laat zien dat het werk een gematigd risico vormt voor het ontstaan van rugschade. Ook

bij deze heftruck bleek de stoel de verticale trillingen nauwelijks af te zwakken: SEAT=93% ten opzichte van 42% voor heftruck 3 over hetzelfde traject. Vooral het rijpad door hal P2 bleek sterk aan de blootstelling bij te dragen. In mindere mate gold dit voor de hallen P3 en de hal aan de overkant van de Newtonstraat (in dit rapport hal 5 genoemd). Het goed afvlakken van de rijpaden in deze drie hallen blijkt onvoldoende om de blootstelling van chauffeur 2 onder de actiewaarde te brengen: met een geschatte dagblootstelling van  $0.62 \text{ m/s}^2$  is deze nog altijd te hoog. Ook voor deze heftruck wordt het monteren van een in ieder geval verticaal goed dempende stoel aangeraden.

Hoewel het onderzoek hier niet op gericht was, kan uit de metingen een zwak verband worden afgeleid tussen oplopende rij snelheid en toenemende verticale trillingsblootstelling. Ook blijkt het rijden met lading vrijwel consequent tot een lagere blootstelling te leiden ten opzichte van onbeladen rijden, onafhankelijk van een rij snelheidseffect. Het besef van deze effecten kan bijdragen aan het verminderen van de blootstelling door de chauffeurs zelf, mocht dit besef niet ten volle aanwezig zijn.

Tot slot: voor de keuze van alternatieve stoelen wordt benadrukt dat de veer karakteristiek van een stoel moet passen bij de frequentie-emissie van de heftruck. Zonodig en bij twijfel dient de keuze (of: de alternatieven) met een meting te worden geverifieerd.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Introductie, probleem en doel</b>	<b>9</b>
<b>2 Materialen, methode en procedure</b>	<b>11</b>
2.1 Chauffeurs	11
2.2 Machines	11
2.3 Locatie, organisatie en omstandigheden van de metingen	12
2.4 Meetinstrumenten en -procedure	13
2.5 Dataverwerking	15
2.6 Interpretatie van meetwaarden naar dagelijkse blootstelling	18
2.7 Presentatie van de data en statistiek	19
<b>3 Resultaten en bespreking</b>	<b>21</b>
3.1 Overall evaluatie van de trillingsblootstellingen per chauffeur	21
3.1.1 Chauffeur 1: intern transport tussen drukkerij, opslag P2 en wikkelaafdeling	21
3.1.2 Chauffeur 2: intern transport P1 naar hal 5, P3 en intern P1	22
3.1.3 Chauffeur 3: intern transport drukkerij – opslag – wikkelaafdeling en P1– hal 5	22
3.2 Mogelijke maatregelen en effecten	23
3.2.1 Vloeren, ondergrond en overgangen	23
3.2.2 Heftrucktype en effectiviteit stoel	26
3.2.3 Rijsnelheid	30
3.2.4 Taak en belading	30
<b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>33</b>
<b>Referenties en relevante kennis</b>	<b>35</b>
<b>Bijlagen</b>	<b>37</b>
A: Meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken	37
B: Fotogalerij van de gemeten heftrucks	39
C: Tijdseries en frequentiespectra van de heftrucks	40





# 1 Introductie, probleem en doel

Vorktrucks Holland B.V. te Hoogeveen is specialist in levering en onderhoud van o.a. heftrucks in de noordelijke provincies. Het werken op een heftruck brengt met zich mee dat de chauffeur wordt blootgesteld aan lichaamstrillingen (Engels: whole-body vibration of WBV) via zitvlak en voeten, en aan hand-arm trillingen (Engels: hand-arm vibration of HAV) via vooral het stuur en bedieningshendels. Deze trillingen kunnen de gezondheid van werknemers schaden. Vanwege het vóórkomen van lichamelijke klachten heeft een klant van Vorktrucks Holland B.V., het bedrijf Bedrijf X, gevraagd om inzicht in de trillingsblootstelling van de chauffeurs van twee door haar geleverde vorkheftrucks. De vraag is geïnitieerd vanuit de chauffeurs zelf en de ondernemingsraad. Het betreft twee LPG aangedreven heftrucks van hetzelfde merk en type die actief zijn in het interne transport van papierrollen, individueel en gestapeld op pallets. Het transport vindt plaats over relatief korte afstanden (tot enkele honderden meters) en over zowel gladde als ongelijke verharde vloeren van gevlinderd beton, Stelcon platen en een kort gedeelte asfaltweg. ErgoLab Research is gevraagd de metingen zódanig uit te voeren dat deze een goed beeld geven van de blootstelling tijdens een normale werkdag en, indien noodzakelijk, te formuleren op welke wijze het meest effectief maatregelen kunnen worden genomen om de blootstelling aan lichaamstrillingen te verminderen.

Een werkgever is binnen de Europese Unie verplicht te voldoen aan de trillingsrichtlijn 2002/44/EG (EU, 2002). De daar gestelde grenzen voor blootstellingen aan lichaamstrillingen en hand-arm trillingen voor werknemers tijdens een willekeurige werkdag zijn integraal in de Nederlandse wetgeving overgenomen (Staatsblad, 2005). Gedefinieerd zijn actiewaarde en grenswaarde. Overschrijding van de grenswaarde voor lichaamstrillingen ( $1.15 \text{ m/s}^2$  als “gemiddelde” over een werkdag) is niet toegestaan en vereist dat blootstelling onmiddellijk onder die grenswaarde wordt gebracht. In praktijk betekent dit veelal dat de uitgevoerde werkzaamheden voor die dag moeten worden gestopt. Bij overschrijding van de actiewaarde voor lichaamstrillingen ( $0.5 \text{ m/s}^2$ ) moeten maatregelen in de nabije toekomst volgen om de blootstelling te verminderen tot onder deze waarde. Dit kunnen organisatorische, technische en/of gezondheidkundige maatregelen zijn. Voor hand-arm trillingen zijn de actie- en grenswaarde respectievelijk  $2.5$  en  $5 \text{ m/s}^2$ .

De metingen hadden tot doel een goede schatting op te leveren van de dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van de chauffeurs van de twee heftrucks. Dit rapport beschrijft de uitvoering en resultaten van deze metingen en geeft aanbevelingen hoe de trillingsblootstelling voor de chauffeurs te verminderen. Het rapport is tevens bedoeld als goede documentatie, zoals genoemd in het Arbeidsomstandighedenbesluit.

Met dit rapport worden de volgende vragen beantwoord:

- Hoe groot is voor de normale dagtaak als geheel de geschatte dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van de beide chauffeurs? Blijft de geschatte dagelijkse blootstelling beneden de norm (i.e. de actiewaarde) voor een 8-urige werkdag?
- Blijft de belasting door schokken voor een normale 8-urige werkdag voor beide chauffeurs beneden de gezondheidkundige grens?

- Zijn de gemonteerde stoelen voldoende effectief in het afzwakken van de trillingen overgebracht via het chassis van de heftruck naar de zitting?
- Welke onderdelen van de taken en de rijpaden dragen vooral bij aan de dagelijkse blootstelling en in welke mate dragen deze bij?

Om de vragen goed te kunnen beantwoorden zijn tevens metingen uitgevoerd aan een derde heftruck met een derde chauffeur. Deze heftruck betrof een ander merk en werd elektrisch aangedreven. De chauffeur van deze heftruck werd gevraagd de taken van de beide eerstgenoemde chauffeurs te imiteren en zoveel mogelijk dezelfde rijpaden te volgen. Blootstellingen en effectiviteit van de stoeldemping werden vergeleken. De aanbevelingen in dit rapport maken tevens gebruik van deze vergelijking.

## 2 Materialen, methode en procedure

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens het rijden op drie verschillende heftrucks, elk op dezelfde werkdag gemeten (13-11-2014), met behulp van 3 ervaren medewerkers. Zij werden gevraagd meerdere cycli van hun normale werk uit te voeren op de voor hen normale wijze. Elke werkcyclus werd zo meerdere keren bemeten. Het zwaartepunt van het onderzoek was gericht op twee chauffeurs met heftrucks van hetzelfde type (en met brandstofmotor) die van elkaar sterk verschillende taken uitvoerden. Een derde chauffeur, met een elektrische heftruck van een ander merk voerde de taken uit van de beide andere chauffeurs om een vergelijking tussen de heftrucks mogelijk te maken. De chauffeursvolgorde op de meetdag was 1-3-2.

### 2.1 Chauffeurs

Metingen zijn uitgevoerd met 3 chauffeurs (allen mannelijk). Er werd geen selectie van chauffeurs gedaan: het bedrijf coördineerde de deelname. De kenmerken van de chauffeurs als groep zijn weergegeven in tabel 1. Alle drie van hen rapporteerden lichamelijke klachten in het voorbije jaar: rug (n=3), nek/schouders (n=2), armen/handen (n=1) en benen/voeten (n=1). De klachten betekenden geen belemmering voor de werkzaamheden tijdens het onderzoek. Wel werd bij alle klachten het vermoeden aangegeven dat deze werden veroorzaakt door het werk. Ieder nam vrijwillig aan het onderzoek deel en tekende een vrijwilligheidsverklaring, na schriftelijk over de aard en inhoud van de metingen geïnformeerd te zijn. In de informatie werd gewezen op het hanteren van de in het bedrijf gebruikelijke veiligheidsvoorschriften en het instellen van de stoel.

Tabel 1: Persoonskenmerken en werkervaring van de chauffeurs (n=3). Weergegeven zijn gemiddelde en de minimum en maximum waarde.

	Leeftijd (jaren)	Lichaams- gewicht (kg)	Lengte (cm)	Ervaring heftruckwerk (jaren)	Arbeid met heftruck <sup>1</sup> (weken / jaar)	Arbeid met heftruck <sup>2</sup> (uren / week)
Gemiddelde	51	101	183	8	49	36
Minimum	40	92	176	7	48	36
Maximum	62	115	190	10	49	36

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

### 2.2 Machines

Het onderzoek werd uitgevoerd met drie heftrucks, waarvan twee van hetzelfde merk en type. In tabel 2 zijn de belangrijkste technische specificaties van de heftrucks vermeld. Foto's van de machines zijn afgebeeld in bijlage B. Gevraagd werd de stoel van de heftruck van tevoren in te stellen op het eigen lichaamsgewicht en de lichaamsmaten.

Tabel 2: Kenmerken van de heftrucks betrokken in de metingen

Voertuig	Fabrikant Type <sup>3</sup>	Bouwjaar	Massa (leeg; kg)	Hefvermogen (kg)	Bandentype, maatvoering <sup>1</sup>	Stoeltype	Stoeldemping, richting <sup>2</sup>
1	Mitsubishi FG20N (LPG) [2174]	2006	3790	2000	Volrubber v: Trelleborg EliteXp 7.00-12 a: Trelleborg EliteXp 6.00-9	United Seats, Ergo Comfort Lift	Z: p X, Y: -
2	Mitsubishi FG20N (LPG) [2175]	2006	3790	2000	Volrubber v: Monarch M <sup>2</sup> 7.00-12 a: Monarch M <sup>2</sup> 6.00-9	Originele Mitsubishi-geleverde Be-Ge stoel	Z: m X, Y: -
3	Still RX60-25 (ACCU) II	2008	3003	2500	Volrubber v: Continental CSE-Robust SC 20 315/45-12 (?) a: Continental CSE-Robust SC 20 180/70-8	Grammer MSG65/521	Z: m X, Y: -

1: v=voorbanden; a=achterbanden

2: m=mechanisch; p=pneumatisch; a=automatisch instellend op gewicht van de chauffeur; X,Y,Z: demping aanwezig in richting(en) conform definitie gegeven in ISO 2631-1 (1997)

3: tussen vierkante haken is het interne bedrijfsnummer van de heftruck gegeven

### 2.3 Locatie, organisatie en omstandigheden van de metingen

De meetlocatie betrof de productielocatie van Bedrijf X te Y. De eerste chauffeur (1) voerde met zijn eigen heftruck (1) meerdere cycli van zijn normale werkzaamheden uit. Dit betrof het transporteren van rollen gedrukt papier uit de drukkerij naar de wikkelafdeling en/of het magazijn P2. Zie voor een plattegrond en overzicht van de belangrijkste rijpaden figuur 3 in de resultatensectie. Deze taak wordt aangeduid met taak 1. Iedere meting duurde ongeveer 20 minuten. Voor deze chauffeur werd dit vervolgens nog twee keer herhaald. Vervolgens werd eerst chauffeur 3 gemeten met heftruck 3. Deze voerde eerst twee keer dezelfde werkcycli uit en volgde ongeveer dezelfde route als chauffeur 1. Het verschil was dat aan de heftruck normale lepels waren gemonteerd; de taak werd dan ook niet daadwerkelijk uitgevoerd maar gesimuleerd eerst zonder pallet en daarna met een volle pallet. Het dient te worden vermeld dat wellicht door deze opzet het pakken en wegzetten van een lading wat snel is uitgevoerd en wellicht voor deze chauffeur wat onderbelicht is gebleven. Na deze uitvoering werd de chauffeur gevraagd transportwerkzaamheden uit te voeren vanuit hal P1 naar hal 5 aan de andere zijde van de Newtonstraat. Dit betrof een werkelijke productietaak, waarbij de pallets vanuit hal P1 werden getransporteerd en vanuit hal 5 leeg terug werd gereden (aangeduid als taak 2). Voor een

overzicht van het parcours wordt verwezen naar figuur 4. Meerdere cycli van deze taak werden gemeten.

Vervolgens werd chauffeur 2 op heftruck 2 gemeten. Zijn normale werk betrof het transport van pallets vanuit hal P1 naar de andere hallen, waaronder hal 5. Deze chauffeur voerde eerst meerdere cycli uit van de transporttaak van hal P1 naar hal 5 (taak 2). Vervolgens werden meerdere cycli gemeten van het transporteren van beladen pallets van P1 naar P3 en intern binnen hal P1. Zie wederom figuur 4 voor een overzicht.

De rijpaden van de verschillende hallen bestonden grotendeels uit gevlinderd beton en waren soms vlak, soms zichtbaar ongelijk. Ook de overgangen tussen de hallen was niet steeds vlak. Vanuit hal P4 naar hal 5 werd een traject met Stelcon platen gepasseerd en moest de straat worden overgestoken, waarbij tevens twee waterafvoergoten werden gepasseerd. De ondergrond van hal 5 bestond uit Stelcon platen.

Opbouw van de meetapparatuur op de machines werd gedaan onmiddellijk voorafgaand aan de metingen. De meetapparatuur werd op de dag voorafgaand aan de metingen geïjkt (zie 2.4).

Trillingsmetingen van de heftrucks met verbrandingsmotor begonnen met een meting van ongeveer 1 minuut van iedere chauffeur stil zittend op een stil staande machine met een stationair draaiende motor.

## 2.4 Meetinstrumenten en -procedure

Procedures voor het doen van metingen van de trillingsblootstelling zijn gestandaardiseerd en beschreven in ISO-richtlijnen. Voor de huidige metingen zijn de richtlijnen NEN-ISO-2631-1 (1997; lichaamstrillingen - algemeen), NEN-ISO-2631-5 (2004; lichaamstrillingen - schokken) en ISO-8041 (2005; trillingen - meetapparatuur) gehanteerd. Bij iedere meting werd de trillingsblootstelling gemeten op de zitting van de stoel. Bovendien werd de trillingsemmissie van de stoelbasis gemeten, op de plaats van de bevestiging van de stoel. De trillingen zijn gemeten in de voorgeschreven drie richtingen: voor-achterwaarts (X), zijwaarts (Y) en verticaal (Z)<sup>1</sup>. De trillingen op de stoelzitting werden gemeten met behulp van een Bruel & Kjaer trillingsopnemer 4322 PE, welke bestaat uit een 3-richtingen trillingsopnemer gefixeerd in een rubber-bekleed stalen omhulsel. De opnemer werd met Duct tape 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 de stoelbasis werden eveneens in de drie richtingen gemeten met behulp van een B&K opnemer 4321. De opnemer was – elektrisch geïsoleerd – gemonteerd op een 4 mm dikke metalen bevestigingsstrook, welke op de plek van één van de bevestigingsbouten van de stoel aan de stoelbasis werd gefixeerd (zie figuur 2).

---

<sup>1</sup> Daarnaast beveelt ISO de volgende zaken aan: (1) metingen dienen van voldoende lange duur te zijn, zodat een representatief beeld van het totale werk wordt verkregen en alle variatie in de blootstelling tijdens de meting wordt meegenomen in het meetresultaat; (2) trillingsignalen worden gewogen volgens de filterkarakteristieken weergegeven in de normen; (3) trillingsblootstelling wordt uitgedrukt als root-mean-square (RMS) waarde; (4) bij voorkeur dient een voldoende groot aantal chauffeurs met verschillende lichaamsmassa's te worden gemeten: ISO beveelt aan blootstellingmetingen te doen bij ten minste 3 personen, zo mogelijk rond de volgende waarden van het lichaamsgewicht: 50-55 kg, 75 kg, 95-100 kg; (5) aanbevolen wordt een minimum van 3 herhalingen per persoon per meetsituatie te bemeten.



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



*Figuur 2: Illustratie bij de meting van trillingen van de stoelbasis van de heftruck: de opnemer voor trillingen aan de stoelbasis is vastgezet op de plaats van een stoelbout.*

De signalen van de opnemers werden via afgeschermd kabels geleid naar twee versterkers (B&K, Nexus 2692; instellingen signaalfiltering high-pass 0.1 Hz, low-pass 1000 Hz) en per kanaal via een 16-bit A/D kaart (National Instruments DAQ6036E met BNC 2090) met een frequentie van  $4096 \text{ s}^{-1}$  opgeslagen op een laptop computer (Dell Latitude D610). Filtering en verwerking van de signalen gebeurde achteraf volgens de ISO-richtlijnen met behulp van LabView (v 8.0, National Instruments, US) en Matlab (v. 6.5.1, The Mathworks Inc., US) software. De gehele meetketen (van opnemers tot PC) is van tevoren voor ieder opnemerkanal geijkt met behulp van een geijkte calibrator (B&K 4291; ijkcertificaat C1209213 d.d. 03-12-2012 van Bruel & Kjaer, Naerum, DK). Meetversterkers zowel als PC werden tijdens de metingen gevoed met 12 V accu's.

Voor de bepaling van de exacte rijnsnelheid is voorafgaand aan de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 62st, Olathe, US) op de heftruck bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en na afloop van een meting overgebracht naar de PC (Mapsource software). Synchronisatie van rij-informatie en trillingsmetingen werd achteraf gedaan op grond van de horizontale versnelling bij rijaanvang.

Eveneens zijn, met het oog op het hebben van informatie over de taakuitvoering tijdens de analyse van de metingen achteraf, continue videoregistraties gemaakt van de taak. Met dit doel is een kleine camera (JVC Action Cam, GC-XA1 BE) aan de achterkant van de heftruck bevestigd, zodanig dat de chauffeur en de ruimte voor en opzij van de heftruck voortdurend in beeld waren. Taakuitvoering tijdens alle metingen werd vastgelegd met 30 frames/s. Tevens werd het start en stoppen van de trillingsmetingen via het geluidskanaal ingesproken, zodat de trillingsmetingen achteraf konden worden gesynchroniseerd met de videobeelden. Videoanalyse is gedaan met behulp van LongoMatch software (zie <http://www.longomatch.org/>). Naast het starten en stoppen van de meting zelf werden in de analyse het starten en stoppen van de motor, de verschillende hallen waarin gereden werd en hun overgangen aangegeven. De videoregistratie maakte het tevens mogelijk aan te geven op welke momenten de chauffeur geen contact had met de stoelzitting. Deze laatste tijdsegmenten en momenten van stilstand die geen verband hielden

met de taak (zoals een stop om het juist functioneren van de meetapparatuur te controleren) zijn buiten de analyse van de meetdata gehouden.

## 2.5 Dataverwerking

Opgeslagen data zijn off-line verwerkt in enkele stappen. De eerste stap betrof de analyse van de videoregistraties waarmee de begin- en eindtijdstippen van de in de vorige paragraaf genoemde gebeurtenissen werden vastgelegd.

Vervolgens werd over ieder tijdsegment, gegeven het bepaalde begin- en eindpunt, van ieder gemeten trillingssignaal softwarematig een frequentie-gewogen signaal berekend, volgens ISO-richtlijnen 2631-1 (1997) en uitgevoerd met behulp van Matlab. Bij de frequentieweging is tevens een ISO-2631-1 (1997) voorgeschreven vermenigvuldiging met factor  $k$  uitgevoerd voor zowel de lichaamstrillingen als die gemeten aan de stoelbasis:  $k=1.4$  voor trillingen in de X- en Y-richting,  $k=1.0$  voor trillingen in de Z-richting<sup>2</sup>. Vervolgens is van ieder frequentie-gewogen en gecorrigeerd signaal een zogenoemd “running RMS”  $a_w(t_0)$  berekend. In onderstaande formule 1 is de berekenwijze weergegeven (met  $t_0$  het moment van observeren):

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

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

Als derde stap werd ieder meetkanaal ( $n=6$ ) als ruw signaal, frequentie-gewogen signaal en running RMS signaal weergegeven op het beeldscherm ter visuele controle van de meting, tezamen met de rijnsnelheidsinformatie. De root-mean-square (RMS) trillingswaarde ( $a_{wk}$ , in  $m/s^2$ ) van elk kanaal over de weergegeven tijdsduur  $T$  is berekend volgens

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

waarin  $a_{wk}(t)$  de instantane waarde in de trillingsrichting  $k$  (met  $k=X, Y$  of  $Z$ ) van het gewogen trillingssignaal op tijdstip  $t$  en  $T$  de duur van de meting. De laatst weergegeven formule kan ook worden gebruikt om de Crest factor te berekenen: de modulus van de ratio van de piekwaarde (maximum of minimum) van het gewogen instantane trillingssignaal  $a_{wk}(t)$  en de RMS trillingswaarde  $a_{wk}$ .

Lidstaten van de Europese Unie mogen op grond van de richtlijn (EU, 2002) bij de beoordeling van lichaamstrillingen in plaats van de bovengenoemde RMS waarde ook de dosismaat VDV

---

<sup>2</sup> Dit betekent dat alle trillingswaarden genoemd in dit rapport inclusief de ISO-2631-1 voorgeschreven correctiefactor  $k$  zijn.

(vibration dose value, ofwel trillingsdosis waarde, in  $\text{m/s}^{1.75}$ ) toepassen. De VDV wordt (en is in dit rapport) als volgt berekend:

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

met  $VDV_k$  de VDV waarde van de meting met tijdsduur  $T$  voor de trillingsrichting  $k$ . De actie- en grenswaarde voor de VDV zijn respectievelijk 9.1 en  $21 \text{ m/s}^{1.75}$ .

Daarnaast is de SEAT waarde berekend ter beoordeling van de effectiviteit van de stoel. SEAT staat voor “seat effective amplitude transmissibility” (Paddan and Griffin, 2002).  $SEAT_{rmsk}$  is de procentuele ratio van de frequentie-gewogen RMS versnellingswaarde op de zitting in één van de trillingsrichtingen  $a_{wk}$  en de frequentie-gewogen RMS versnellingswaarde van de stoelbasis in diezelfde richting  $a_{sbk}$ :

$$SEAT_{rmsk} = \frac{a_{wk}}{a_{sbk}} \times 100\% \quad (4)$$

Het effect van meervoudige schokken is beoordeeld op basis van ISO 2631-5 (2004). De eerste stap hierin is dat gemeten ongewogen versnellingen van de stoelzitting van iedere gebeurtenis modelmatig in een versnellingsrespons van de wervelkolom worden omgezet. Dit is gedaan met behulp van de in de ISO norm gegeven Matlab functie. Vervolgens wordt op grond van pieken in die versnellingsrespons een versnellingsdosis  $D_k$  (in  $\text{m/s}^2$ ) berekend voor elk van de drie versnellingsrichtingen  $k=X, Y$  of  $Z$ , volgens

$$D_k = \left[ \sum_i A_{ik}^6 \right]^{1/6} \quad (5)$$

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 5 bepaalde  $D_k$  te schalen naar de normale dagelijkse blootstellingstijd,

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

waarin  $t_d$  de duur van de normale dagelijkse blootstelling en  $t_m$  de duur van de meting is. De totale dagelijkse blootstelling is gesteld op  $7\frac{1}{4}$  uur, en de  $t_d$  van iedere gebeurtenis is geschaald op grond van de verhouding tussen de meetduur en deze dagelijkse blootstelling (zie ook: paragraaf 2.6).



Om het gezondheidseffect te kunnen schatten wordt de bovengenoemde maat voor versnellingsdosis omgerekend naar een equivalent van de statische compressie dosis  $S_{ed}$  (in MPa) volgens

$$S_{ed} = \left[ \sum_{k=x,y,z} (m_k D_{kd})^6 \right]^{1/6} \quad (7)$$

waarin de volgende waarden voor  $m_k$  worden aanbevolen:  $m_x = 0.015 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ ,  $m_y = 0.035 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ ,  $m_z = 0.032 \text{ MPa} / (\text{m/s}^2)$ .

In de ISO richtlijn wordt aangegeven dat bij een dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen/jaar) de kans op rugschade in een werkend leven (45 jaren) 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 lager aantal blootstellingsdagen worden deze waarden gecorrigeerd en komen de grenzen hoger te liggen: zie de tabel 3 hieronder. Voor de beoordeling aan schokken is in huidige onderzoek uitgegaan van een blootstelling gedurende 240 dagen per jaar, omdat het werk het volledige jaar door wordt uitgevoerd.

*Tabel 3: 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 gegeven op basis van ISO-2631-5 (2004).  $S_{ed}$  in MPa. De vermenigvuldigingsfactor is de factor waarmee de  $S_{ed}$ -grenswaarden van een volledig jaar blootstelling (240 dagen) moeten worden vermenigvuldigd.*

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

Tot slot: ISO beveelt aan in de rapportages van metingen tevens melding te maken van de frequentiespectra van de metingen. Enkele voorbeelden van ruwe dataseries van ongewogen trillingsmetingen van de stoelbasis en de bijbehorende frequentiespectra zijn weergegeven in de bijlage C. Tevens is er het spectrum voor de ongewogen verticale trillingen zoals gemeten op de stoel weergegeven. Dit laatste om te laten zien welke frequenties wel en welke niet door de stoel worden afgezwakt. Let wel dat het rijden tijdens de getoonde metingen met een variabele rijsnelheid is uitgevoerd.

In de navolgende tabel 4 zijn de belangrijkste uitkomstvariabelen van de trillingsmetingen kort samengevat.

Tabel 4: Uitleg van de belangrijkste uitkomstvariabelen van de trillingsmetingen in het huidige rapport

$a_w$	De <u>trillingsblootstelling</u> wordt uitgedrukt in de variabele $a_w$ , met als eenheid $m/s^2$ , en is de gewogen RMS versnelling over de meetperiode. Voor de beoordeling van de trillingsblootstelling wordt de hoogste waarde van de drie gemeten assen gebruikt. De wetgever geeft aan dat bij een waarde $\geq 0.5 m/s^2$ over een 8-urige werkdag maatregelen moeten volgen. De weging is frequentieafhankelijk, en door ISO gedefinieerd.
Crest	De Crest-factor is de absolute waarde van de hoogste instantane piek in de trillingsblootstelling, gedeeld door de RMS trillingswaarde over de meetperiode. ISO-2631-1 (1997) geeft aan dat voor waarden $>9$ <u>schokbelasting</u> een rol speelt en uitsluitend een evaluatie op grond van de $a_w$ mogelijk niet voldoende is.
SEAT	Seat Effective Amplitude Transmissibility, ofwel de gewogen RMS trillingswaarde gemeten op de stoel als percentage van die van het chassis gemeten aan de stoelbasis. Het is een <u>maat voor de effectiviteit van de stoeldemping</u> . Een waarde 100% geeft aan dat de stoel de trillingen gewoon doorgeeft. Bij een waarde van 60% treedt er een aanzienlijke demping op, namelijk 40%.
VDV	Vibration Dose Value, ofwel <u>trillingsblootstelling</u> berekend als vierde macht van de gemeten versnelling over de meetperiode. De VDV is meer gevoelig voor pieken in de blootstelling en heeft als eenheid $m/s^{1.75}$ . De EU landen hebben de keuze de gezondheidkundige grenzen uit te drukken als $a_w$ of als VDV. Voor de VDV geldt als actiewaarde $9.1 m/s^{1.75}$ en als grenswaarde $21 m/s^{1.75}$ .
D	Versnellingsdosis volgens ISO-2631-5 (2004) in $m/s^2$ . Het is een hulpmiddel bij de evaluatie van kans op gezondheidsschade door schokken.
$S_{ed}$	Equivalent van de dagelijkse statische compressie dosis volgens ISO-2631-5 (2004), in MPa, als <u>hulpmiddel bij het beoordelen van schokken</u> . Bij een dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) wordt in deze 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. Voor een kleiner aantal dagen gelden hogere grenzen. De grenzen gaan uit van een blootstelling gedurende een werkend leven (i.e. 45 jaren).
Tijdsduur	Lengte van de meetperiode (in s), na correctie voor de momenten van stilstand, niet verband houdend met de normale taakuitvoering, en van geen contact met de stoelzitting.

## 2.6 Interpretatie van meetwaarden naar dagelijkse blootstelling

Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling schrijft de wet voor dat de trillingsrichting met de hoogste blootstelling de maximale werkduur bepaalt, gegeven een willekeurige werkdag. De dagelijkse blootstelling is berekend op grond van de gemeten cycli. Aangenomen is dat de verhouding in de werkduur tussen de verschillende handelingen uitgevoerd tijdens de meting dezelfde is als tijdens een normale werkdag. De gemeten tijdverdeling is aangegeven bij de resultaten. Daarnaast gaven alle chauffeurs aan dat ze een normale 8-urige werkdag kennen, waarin drie reguliere pauzes van 15 minuten zitten. Voor een normale werkdag is dus rekening gehouden met een totaal van  $7\frac{1}{4}$  uur heftruckwerk. Dit werk is uiteraard inclusief handelingen buiten de heftruck. Deze zijn ook opgenomen in het werkdagpatroon, evenwel is de blootstelling op die momenten op nul gesteld.

De blootstelling voor de gehele taak die is gemeten is berekend uit de blootstellingen per taakonderdeel (hal, overgang, etc.), volgens

$$a_{wk} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wki}^2 T_i} \quad (8)$$

met  $a_{wk}$  de gewogen trillingsblootstelling van de gehele taak voor de trillingsrichting  $k$  (met  $k = X, Y$  of  $Z$ ),  $a_{wki}$  de gewogen trillingsblootstelling van elk van de taakonderdelen  $i$ ,  $T_i$  de duur van elk gemeten taakonderdeel  $i$ , en  $T_0$  de duur van alle taakonderdelen samen.

Vervolgens werd de berekende blootstelling voor de gehele taak geschaald naar een werkdag van 8 uur (met dus  $7\frac{1}{4}$  uur heftruckwerk), waarmee de dagelijkse blootstelling werd verkregen, volgens

$$a_{wk(eq,dag)} = \sqrt{\frac{a_{wki}^2 T_i}{T_d}} \quad (9)$$

met  $a_{wk(eq,dag)}$  de dagelijkse blootstelling bij een normale werkdag,  $a_{wki}$  de berekende of uit de literatuur verkregen blootstelling van de deeltaken,  $T_i$  de duur van elke deeltaak,  $T_d$  de totale lengte van een werkdag (8 uur) en  $k$  de trillingsrichting  $X, Y$  of  $Z$ .

## 2.7 Presentatie van de data en statistiek

De resultaten zijn weergegeven in tabelvorm en als plattegronden, boxplots en tijdseries. Een boxplot geeft mediane (middelste) waarde en interkwartielen als box (de box omvat dus 50% van de waarnemingen) en uiterste waarden als “harken” boven en onder de box. Soms ligt een enkele waarde zó ver buiten de groep andere waarnemingen dat deze apart is aangegeven buiten de harken, de zogenoemde “verre waarden”. In de boxplots 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 per taak (3 machines met elk één chauffeur) zijn geen statistische berekeningen op eventuele verschillen uitgevoerd.



## 3 Resultaten en bespreking

Voor het bepalen van de dagelijkse blootstelling is de werkdagduur voor de beide chauffeurs gesteld op 7¼ uur, dat wil zeggen 8 uur minus drie keer één kwartier pauze. In piekperioden kan een werkdag evenwel tot 12 uur bedragen. Daarnaast wordt verondersteld dat het normale werkdagpatroon overeenkomt met het patroon van de metingen: 5% zitten in een stilstaande heftruck met stationair draaiende motor, 32% pakken en wegleggen van lading, 30% rijden zonder lading en 32% rijden met lading (chauffeur 1) en 4% zitten in een stilstaande heftruck met stationair draaiende motor, 33% pakken en wegleggen van lading, 31% rijden zonder lading en 32% rijden met lading (chauffeur 2). Ook de snelheid van rijden en van optrekken en afremmen wordt aangenomen representatief te zijn.

In onderstaande paragrafen wordt eerst de blootstelling als gevolg van de uitvoering van de gehele set taken van de drie chauffeurs weergegeven. De maatregelen die genomen kunnen worden om de trillingsblootstelling te verminderen kunnen betrekking hebben op de aard van de ondergrond van de verschillende hallen, het gebruik van een andere heftruck, het aanpassen van de rijsnelheid, het vergroten van de effectiviteit van trillingsdemping van de op de heftruck gemonteerde stoel, of zelfs op het het al dan niet meenemen van lading. Deze maatregelen en het verwachte effect worden in de daarna volgende paragrafen besproken.

### 3.1 Overall evaluatie van de trillingsblootstellingen per chauffeur

#### 3.1.1 *Chauffeur 1: intern transport tussen drukkerij, opslag P2 en wikkelfdeling*

De ruimtes waarin gereden werd waren vooral (in volgorde van aflopende tijd) opslag P2, drukkerij, wikkelfdeling en gebouw Z1, en de overgangen ertussen. Tesaamen werd in deze vier ruimtes 92.5% van de totale rijtijd gereden (exclusief pakken en wegzetten van lading). De gemiddelde rijsnelheid bedroeg 4 km/uur; het verschil in rijsnelheid tussen beladen rijden en onbeladen rijden bleek klein: respectievelijk 6.6 en 7.0 km/uur.

De geschatte blootstelling aan *trillingen* voor een werkdag bleek het hoogst langs de verticale (Z) as: 0.56 m/s<sup>2</sup> uitgedrukt als RMS waarde en 11.67 m/s<sup>1.75</sup> uitgedrukt als VDV waarde. Beide waarden liggen boven de respectievelijke actiewaarden (0.50 m/s<sup>2</sup> en 9.1 m/s<sup>1.75</sup>) en geven aan dat het werk een risico inhoudt voor het ontstaan van schade aan de rug. Voor de andere trillingsrichtingen (de horizontale assen X en Y) blijft de blootstelling onder de actiewaarde: 0.40 m/s<sup>2</sup> voor beide. Omdat de maximale werkduur voor een werkdag wordt afgeleid van de RMS waarde van trillingsrichting met de hoogste blootstelling, betekent dit dat door deze chauffeur op deze heftruck maximaal 6.36 uren (dus: ruwweg 6 uur en 20 minuten) per dag kan worden gewerkt alvorens actie moet worden ondernomen. Dit is korter dan een normale werkdag. Daarnaast heeft het bedrijf aangegeven dat in piekperiodes een langere dan 8-urige werkdag wordt gemaakt door de betrokkene. Om beide redenen is nadere actie gewenst om de trillingsblootstelling te verminderen.

Een evaluatie van de blootstelling aan *schokken* leverde voor deze chauffeur geen aandachtspunt op: op grond van de metingen wordt de dagelijkse compressiedosis  $S_{ed}$  berekend op 0.43 MPa, hetgeen mag worden geïnterpreteerd als een laag risico.

Een samenvatting van de resultaten van de metingen aan chauffeur 1 op zijn heftruck 1 is weergegeven in de eerste (stationair zitten) en tweede (rijden) tabel van bijlage A (steeds het bovenste deel), alsmede de laatste tabel voor oppakken en wegleggen van de papierrollen.

### 3.1.2 *Chauffeur 2: intern transport P1 naar hal 5, P3 en intern P1*

De taken van deze chauffeur betroffen het verplaatsen van beladen pallets vanuit hal P1 naar de hallen 5 en P3 en intern binnen de hal P1. De hallen P2 en P4 werden uitsluitend als doorgang gebruikt. De tijdverdeling bedroeg 39% P1-hal 5, 34% P1-P3, en 28% intern P1. De gemiddelde rijsnelheid bedroeg 6.0 km/uur. Onbeladen werd aanzienlijk sneller gereden (gemiddeld 10.5 km/uur) ten opzichte van beladen (8.4 km/uur).

Een evaluatie van de gehele set taken is weergegeven in de eerste, vierde en vijfde tabel van bijlage A. Evenals voor chauffeur 1 was de blootstelling het hoogst in de verticale richting, waarbij alle evaluatieparameters wijzen op een duidelijk gezondheidsrisico: 0.91 m/s<sup>2</sup> (RMS), 19.84 m/s<sup>1.75</sup> (VDV) en 0.68 MPa (S<sub>ed</sub>). Op grond van de RMS waarde zou de chauffeur maximaal 2.4 uur (dus: nog geen 2½ uur) per dag mogen werken alvorens actie zou moeten worden ondernomen. De hoge gemeten VDV waarde en de Sed waarde >0.5 MPa duiden op een aanzienlijk risico van de werkzaamheden voor het doen ontstaan van rugklachten. Voor deze chauffeur is dan ook het advies dat acties dringend gewenst zijn.

### 3.1.3 *Chauffeur 3: intern transport drukkerij – opslag – wikkelfdeling en P1– hal 5*

Deze chauffeur voerde met heftruck 2 twee verschillende taken uit: (1) de taak van chauffeur 1 werd gesimuleerd door in de fabriekshallen vier keer een traject te rijden vergelijkbaar met die van chauffeur 1, twee keer zonder belading en twee keer met een beladen pallet; (2) een deel van de taken van chauffeur 2 werd uitgevoerd: het brengen van beladen pallets vanuit hal P1 naar hal 5, waarna onbeladen werd teruggereden. De tijdverdeling over beide taken was ongeveer <sup>2</sup>/<sub>3</sub> en <sup>1</sup>/<sub>3</sub> deel. De gemiddelde rijsnelheid was 8.2 km/uur, met opvallend een hogere gemiddelde snelheid tijdens rijden met belading (9.9 km/uur) ten opzichte van onbeladen (8.9 km/uur).

Voor beide taken tesamen is een blootstellingsevaluatie gegeven in de derde en vijfde tabel van bijlage A. De blootstelling aan *trillingen* blijkt het hoogst in de voor-achterwaarts richting: 0.59 m/s<sup>2</sup> (RMS) en 10.68 m/s<sup>1.75</sup> (VDV). Ook in de zijwaarts richting bleek de VDV waarde de actiewaarde te overstijgen: 9.70 m/s<sup>1.75</sup>. Uitgedrukt als RMS waarde werd de actiewaarde niet bereikt (0.48 m/s<sup>2</sup>). Dit laatste gold ook voor de verticale trillingsblootstelling (0.42 m/s<sup>2</sup>). De horizontale trillingsblootstelling betekent dat deze chauffeur op deze heftruck zijn taken maximaal 5.75 uren (dus vijf uur en drie kwartier) per werkdag zou mogen uitvoeren alvorens actie moet worden ondernomen om gezondheidschade te voorkomen. Gelet op het verschil in dominante trillingsrichting spreekt het voor zich dat maatregelen voor beide chauffeurs wellicht zullen verschillen.

Ook voor deze chauffeur met deze taken is geen additioneel risico door blootstelling aan *schokken* vastgesteld: S<sub>ed</sub> = 0.47 MPa.

## 3.2 Mogelijke maatregelen en effecten

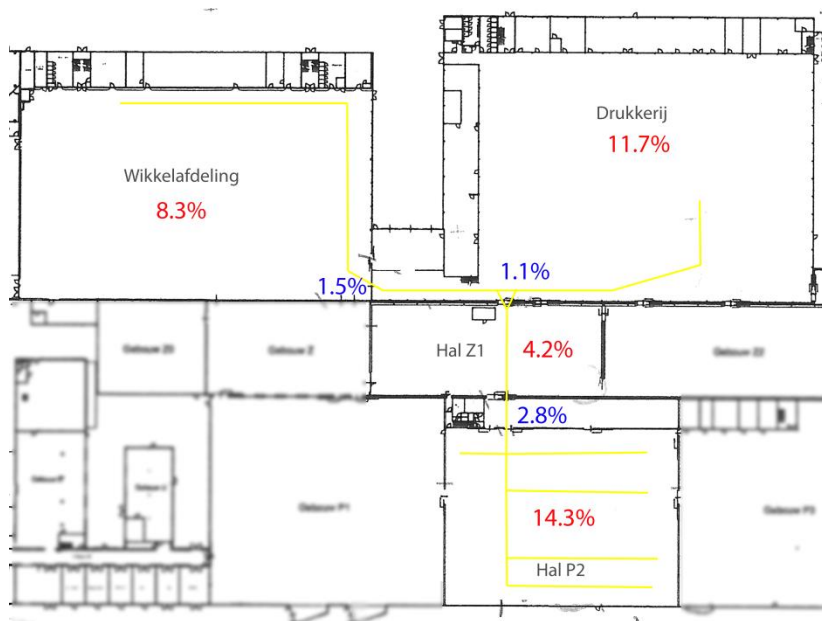
### 3.2.1 Vloeren, ondergrond en overgangen

Tabel 5: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$  (in  $m/s^2$ ), zijnde de RMS waarde van de drie trillingsrichtingen X, Y en Z, en de tijdsduur van verblijf in elke fabrieksruimte en in de overgangen tussen de ruimtes voor chauffeur 1 rijdend op heftruck 1. De data betreffen uitsluitend het rijden met en zonder belading, exclusief het oppakken en wegzetten van de lading.

Chauffeur 1, rijdend in	Gemeten RMS blootstelling (in $m/s^2$ )			Tijdsduur (s)
	$a_{wx}$	$a_{wy}$	$a_{wz}$	
P2	0.38	0.45	0.69	666.7
Overgang P2 – Z1	0.34	0.40	1.02	63.5
Z1	0.27	0.42	0.73	184.1
Overgang Z1 – Drukkerij	0.36	0.66	0.68	54.1
Drukkerij	0.32	0.43	0.65	618.3
Overgang Drukkerij – Wikkelfdeling	0.39	0.73	0.90	44.9
Wikkelfdeling	0.25	0.42	0.59	543.3

Voor elke hal en elke overgang tussen twee hallen is de blootstelling aan lichaamstrillingen bepaald, zowel indien gereden werd met lading als zonder. Omdat het effect van een ongelijke overgang meestal na-ijlt is bij een overgang steeds een tijdsduur van ongeveer twee seconden aangehouden.

Tabel 5 geeft voor chauffeur 1 de uitkomsten van de metingen, beladen en onbeladen rijden samengenomen, voor de belangrijkste hallen en de overgangen ertussen. Tevens is in de tabel de totale tijd weergegeven die het rijden door de betreffende ruimte heeft gekost. Let wel: de getallen betreffen uitsluitend het rijden zelf, met of zonder lading, en dus exclusief het pakken en wegzetten van de rollen of korte perioden van stilstaan. Duidelijk is dat enkele overgangen, met name die tussen de hallen P2 en Z1 en die tussen de drukkerij en de wikkelfdeling gepaard gaan met een aanzienlijke verticale trillingsblootstelling. Echter, gezien de beperkte tijdsduur van de blootstelling zal het vlakken van deze overgangen (en daarmee een reductie van deze blootstellingen) niet heel sterk bijdragen aan het verlagen van de blootstelling van de gehele taak. Om op eventuele maatregelen aan de ondergrond te kunnen sturen is daarom per ruimte en per overgang berekend welke effect een eliminatie van de betreffende trillingsblootstelling zou hebben op de blootstelling van de totale taak. Figuur 3 toont hiervan het resultaat, weergegeven als procentuele reductie van de blootstelling in de plattegrond van de productielocatie. Let wel: de chauffeur volgde ook nog enkele andere rijpaden, maar vanwege de beperkte duur en relatief beperkte bijdrage aan de blootstelling zijn deze in de figuur niet weergegeven. Meest effectief is het vlakken van de hal P2, welke de verticale trillingsblootstelling van de gehele taak met ruim 14% zal verminderen. Het vlakken van de ondergrond van de drukkerij, met name het gedeelte naar de wikkelfdeling toe, zal leiden tot een reductie met bijna 12%. Ter vergelijking: het vlakken van alle overgangen zal een berekende vermindering van ruim 6% op de blootstelling hebben. Hierbij moet het volgende worden aangetekend: verbetering van de ondergrond zal natuurlijk



Figuur 3:

Plattegrond van een deel van de productieafdelingen, waarin aangegeven de namen van de hallen, de belangrijkste rijpaden van befructchauffeur 1 (in geel) en de procentuele reductie van de blootstelling aan lichaamstrillingen in de verticale richting (Z) voor de totale taak indien deze blootstelling in de betreffende ruimte op nul gesteld wordt. De totale activiteit is inclusief korte perioden zitten op de staande befruct met een stationair draaiende motor en het oppakken en wegleggen van papierrollen, alsmede het volgen van enkele andere paden die vanwege de beperkte duur niet in de figuur zijn weergegeven. De rode percentages hebben betrekking op de hallen zelf; de percentages in blauw zijn die voor de overgangen tussen de ruimtes.

nooit kunnen leiden tot een totale eliminatie van de blootstelling. Om deze reden geeft figuur 3 het meest extreme scenario en zal de werkelijke winst in blootstellingsreductie minder groot zijn. Als voorbeeld: in het geval dat de rijvloeren van de drukkerij en de hal P2 beide geëgaliseerd zouden worden en een blootstelling zouden opleveren van  $0.50 \text{ m/s}^2$  (dus: ruim onder die van de wikkelfdeling!) zou de dagelijkse blootstelling voor de gehele taak juist onder de actiewaarde komen:  $0.497 \text{ m/s}^2$ .

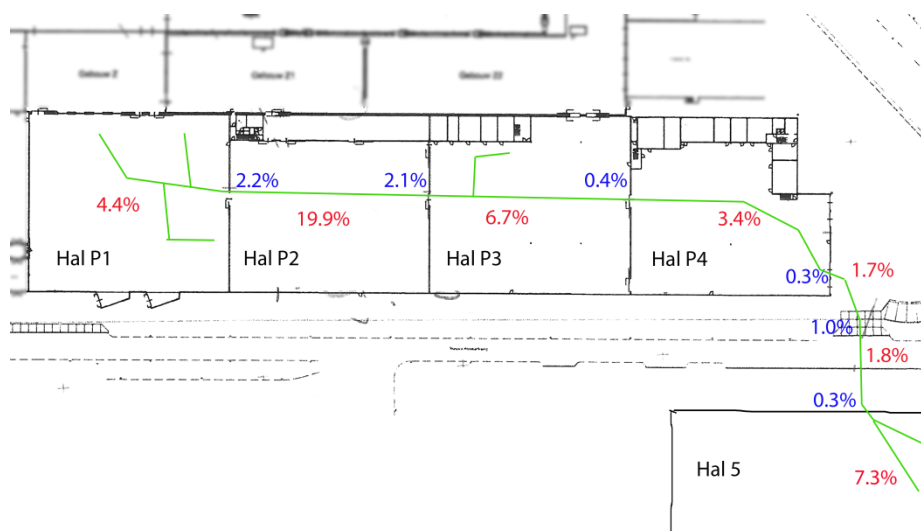
Voor chauffeur 2 is de blootstelling voor het rijden met en zonder lading per hal en overgang weergegeven in tabel 6. Opvallend hoog zowel voor-achterwaarts als verticaal scoort hier de afwateringsgoot net buiten het hek op de overgang naar het straatgedeelte. Daarnaast dragen de rijpaden in de meeste hallen bij aan de hoge verticale trillingsblootstelling van deze chauffeur. Een positieve uitzondering hierop is hal P1. Evenals voor chauffeur 1 is de blootstelling aan lichaamstrillingen bij alle overgangen groot, alleen is de bijdrage hiervan aan de blootstelling voor de gehele taak beperkt vanwege de korte tijdsduur.

Ook voor de rijpaden van deze chauffeur is in figuur 4 per hal en per overgang aangegeven met welk percentage de blootstelling van de gehele taak zou afnemen indien de bijdrage van het betreffende deel op nul zou worden gesteld. Indien de bijdrage van alle overgangen op nul wordt gesteld zou de blootstelling van de gehele taak met  $6.5\%$  worden verlaagd. Meest opvallend in de figuur is de bijdrage van hal P2: zonder deze blootstelling zou de totale blootstelling van de chauffeur 2 met bijna  $20\%$  dalen. De meest belangrijke andere bronnen zijn de hallen P3 en 5, de laatste aan de overkant van de Newtonstraat, welke bij eliminatie de blootstelling elk zo'n  $7\%$  doen dalen. Indien de vloeren van deze drie hallen verbeterd zouden worden waarbij dan bij elk een verticale blootstelling van  $0.50 \text{ m/s}^2$  zou worden aangenomen, zou de blootstelling aan verticale lichaamstrillingen voor deze chauffeur bij uitvoering van dezelfde taken op  $0.62 \text{ m/s}^2$  uitkomen. Dit zou een aanzienlijke verbetering betekenen, maar blijkt voor deze chauffeur nog altijd onvoldoende, zodat aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn.

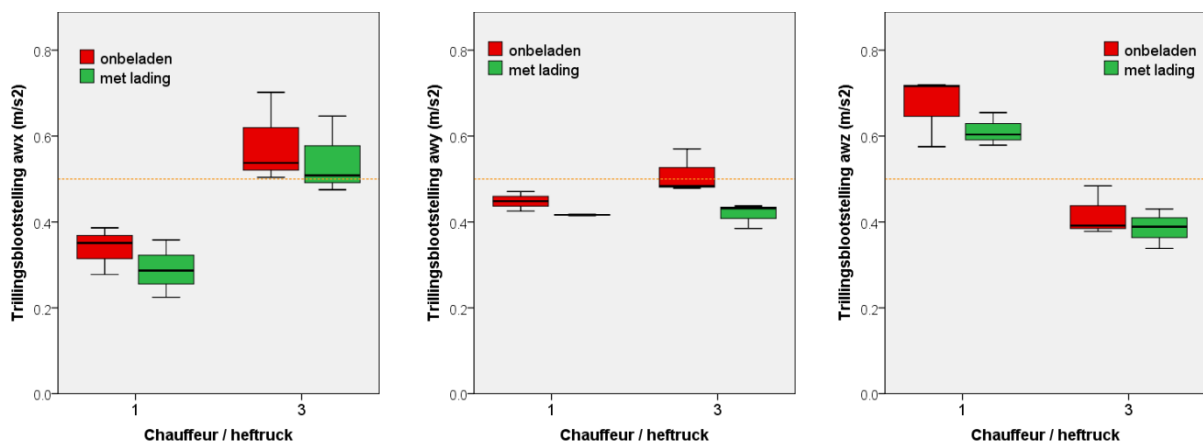


Tabel 6: blootstelling aan lichaamstrillingen  $a_w$  (in  $m/s^2$ ), zijnde de RMS waarde van de drie trillingsrichtingen X, Y en Z, en de tijdsduur van verblijf in elke fabrieksruimte en in de overgangen tussen de ruimtes voor chauffeur 2 rijdend op heftruck 2. De data betreffen uitsluitend het rijden met en zonder belading, exclusief het oppakken en wegzetten van de lading.

Chauffeur 2, rijdend in	Gemeten RMS blootstelling (in $m/s^2$ )			Tijdsduur (s)
	$a_{wx}$	$a_{wy}$	$a_{wz}$	
P1	0.32	0.47	0.61	265.7
Overgang P1 – P2	0.24	0.29	1.38	26.1
P2	0.37	0.44	1.70	143.8
Overgang P2 – P3	0.37	0.51	1.37	26.2
P3	0.53	0.58	0.95	167.1
Overgang P3 – P4	0.27	0.68	1.05	7.9
P4	0.48	0.65	1.17	56.5
Overgang P4 – Stelcon buiten	0.54	0.71	1.25	5.1
Stelcon buiten	0.67	0.77	1.43	19.3
Overgang Stelcon buiten – straat	1.24	0.49	1.78	7.0
Straat	0.86	1.03	1.10	33.7
Overgang straat – Hal 5	0.64	0.85	1.12	6.1
Hal 5	0.45	0.72	1.19	115.2



Figuur 4: Plattegrond van een deel van de productieafdelingen, waarin aangegeven de namen van de hallen, de belangrijkste rijpaden van heftruckchauffeur 2 (in groen) en de procentuele reductie van de blootstelling aan lichaamstrillingen in de verticale richting (Z) voor de totale taak indien deze blootstelling in de betreffende ruimte op nul gesteld wordt. De totale activiteit is inclusief korte perioden zitten op de staande heftruck met een stationair draaiende motor en het oppakken en wegzetten van geladen pallets. De rode percentages hebben betrekking op de hallen zelf; de percentages in blauw zijn die voor de overgangen tussen de ruimtes.

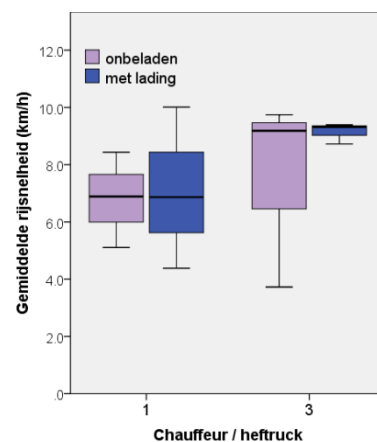


Figuur 5: Blootstelling aan lichaamstrillingen ( $a_w$  in  $m/s^2$ ) in voor-achterwaarts richting ( $x$ , links), zijwaarts ( $y$ , midden) en verticaal ( $z$ , rechts) voor het rijden met heftruck 1 en 3 (door respectievelijk chauffeur 1 en 3) in de hallen P2, de drukkerij en de wikkelafdeling. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de drie hallen, exclusief de overgangen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

### 3.2.2 Heftrucktype en effectiviteit stoel

Een van de mogelijke maatregelen om de verticale blootstelling van de beide heftruck chauffeurs te verminderen is een ander type heftruck in te zetten. Zoals in paragraaf 3.1 is laten zien is de verticale blootstelling van chauffeur 3 aanzienlijk minder en blijft onder de actiewaarde. Daarentegen is bij deze chauffeur juist de blootstelling in voor-achterwaarts richting verhoogd. Als eerste de vergelijking tussen de chauffeurs 1 (heftruck 1) en 3 (heftruck 3). Omdat beide chauffeurs een enigszins verschillend rijpatroon hadden, is een directe vergelijking van de eerder getoonde resultaten niet geheel zuiver. Voor een juiste vergelijking is daarom een selectie gemaakt van de voor beide gemeenschappelijke rijpaden. Verder zijn alleen de belangrijkste hallen geselecteerd, te weten hal P2 (met het rijpad volgens figuur 3), drukkerij en wikkelafdeling. Bovenstaande figuur 5 toont de resultaten. De figuur laat dezelfde trend zien als in paragraaf 3.1 beschreven: heftruck 3 reduceert de verticale trillingsblootstelling aanzienlijk, maar verhoogt de blootstelling in voor-achterwaarts richting. In alle gevallen en in alle richtingen blijkt de blootstelling lager indien lading wordt meegevoerd. Complicerende factor hierbij is dat de

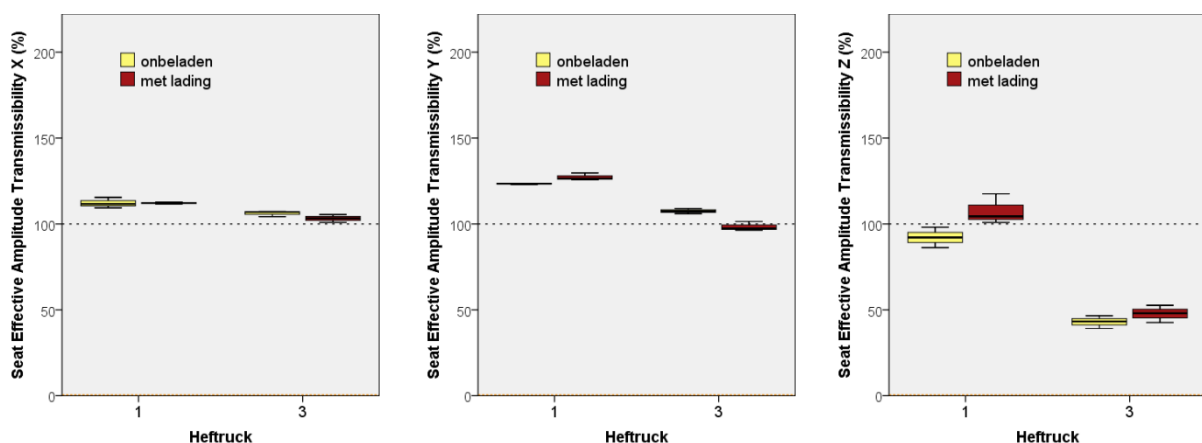
Figuur 6: Gemiddelde rij snelheid (in  $km/h$ ) tijdens het rijden met heftruck 1 en 3 (door respectievelijk chauffeur 1 en 3) in de hallen P2, de drukkerij en de wikkelafdeling. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de drie hallen, exclusief de overgangen.



gemiddelde rijsnelheid door chauffeur 3 hoger lag dan die van chauffeur 1: zie figuur 6. In ieder geval zal het verschil in rijsnelheid niet de tegengestelde trend voor de X- en Z-richting kunnen verklaren. Om deze reden is tevens gekeken naar de effectiviteit van demping van de twee op beide heftrucks gemonteerde stoelen. Figuur 7 laat zien dat de demping van beide stoelen in het horizontale vlak op op boven de 100% ligt, met een trend voor een iets betere demping door de stoel gemonteerd op heftruck 3. Echter, het rechter paneel van deze figuur laat zien dat de stoel van heftruck 1 in verticale zin niet effectief dempt: de SEAT waarde rond 100% geeft aan dat trillingen van het chassis onverminderd worden doorgegeven aan de bestuurder. De stoel van heftruck 3, daarentegen, laat een duidelijke demping van de verticale trillingen zien: de SEAT waarde tussen 40% en 50% toont aan dat 50-60% van de via het chassis aangeboden trillingen worden gedempt door de stoel.

Het lijkt aannemelijk dat maatregelen met betrekking tot het verbeteren van de effectiviteit van de stoeldemping, i.c. een andere stoel die de door het chassis aangeboden frequenties in voldoende mate dempt, de blootstelling van de chauffeur van heftruck 1 langs de verticale as voldoende zullen reduceren. Deze maatregel lijkt meer effectief dan de vervanging van de heftruck 1 door het type heftruck 3, omdat hiermee wellicht een probleem met horizontale trillingen wordt geïntroduceerd. Om de keuze van de stoel enigszins te kunnen sturen zijn in bijlage C frequentiespectra gegeven van de heftrucks 1 en 3 tijdens het rijden zonder lading in hal P2 (richting volgens figuur 3). De getoonde frequentiespectra laten het gebrek aan demping in het lage-frequentiegebied van de stoel gemonteerd op heftruck 1 duidelijk zien. In tabel 7 zijn de SEAT waarden voor beide heftrucks voor het geheel van de drie hallen weergegeven.

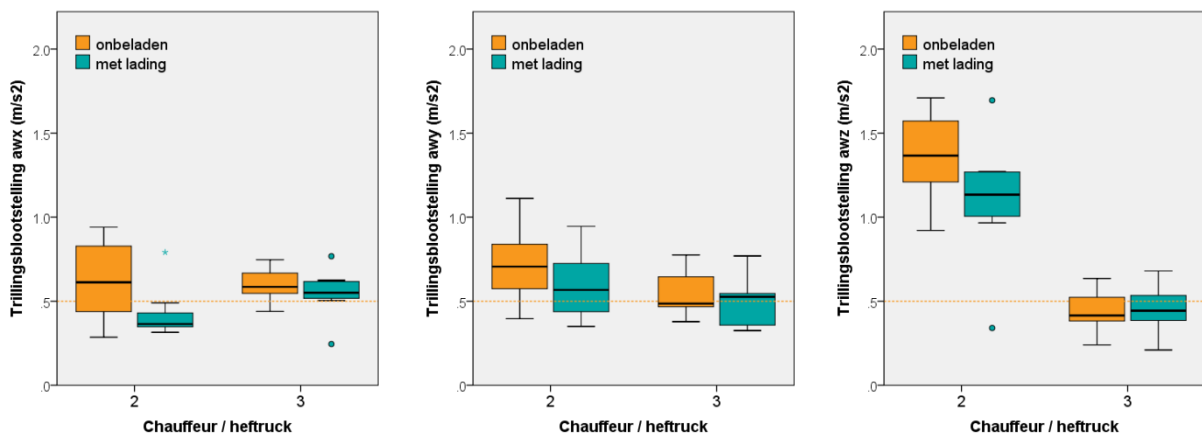
Op dezelfde wijze als bovenstaand beschreven is een vergelijking gemaakt tussen de heftrucks 2 en 3 voor de rijpaden die door beide zijn gereden, dat wil zeggen de hallen P1, P2, P3, P4, hal 5 en de buitengedeelten Stelcon en oversteek van de Newtonstraat. Figuur 8 laat de resultaten van de vergelijking van de trillingsblootstellingen  $a_w$  zien, onderscheiden naar het rijden met en zonder lading. Het verschil is vergelijkbaar met het bovengeschetste beeld voor wat betreft de



Figuur 7: *Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) tijdens het rijden met heftruck 1 en 3 (door respectievelijk chauffeur 1 en 3) in de hallen P2, de drukkerij en de wikkelfabdeling. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de drie hallen, exclusief de overgangen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau 100% aan, d.w.z. het niveau waarbij er geen verschil is tussen de trillingen van de stoelbasis en boven op de zitting.*

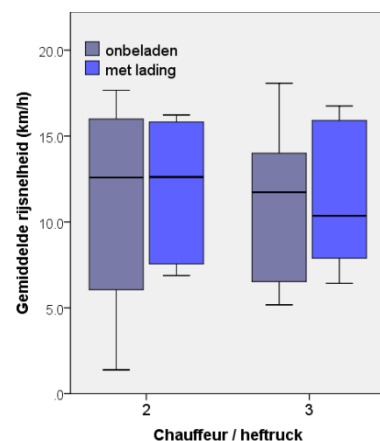
Tabel 7: Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting ( $x$ , links), zijwaarts ( $y$ , midden) en verticaal ( $z$ , rechts) voor het rijden met heftruck 1 en 3 (door respectievelijk chauffeur 1 en 3) in de hallen P2, de drukkerij en de wikkelafdeling. De data hebben betrekking op de drie hallen gezamenlijk en betreffen uitsluitend het rijden zelf met en zonder belading, dus exclusief het oppakken en wegzetten van de lading en exclusief de overgangen. Ook is de totale tijdsduur van de metingen weergegeven.

Heftruck	SEAT <sub>x</sub> (%)	SEAT <sub>y</sub> (%)	SEAT <sub>z</sub> (%)	Tijdsduur (s)
1	111.8	125.2	97.0	1828
3	105.4	103.9	42.7	672



Figuur 8: Blootstelling aan lichaamstrillingen ( $a_w$  in  $m/s^2$ ) in voor-achterwaarts richting ( $x$ , links), zijwaarts ( $y$ , midden) en verticaal ( $z$ , rechts) voor het rijden met heftruck 2 en 3 (door respectievelijk chauffeur 2 en 3) in de hallen P1-P4, hal 5 en het Stelcon- en straatgedeelte tussen P4 en hal 5. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de vijf onderscheiden hallen en twee buitengedeelten, exclusief de overgangen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

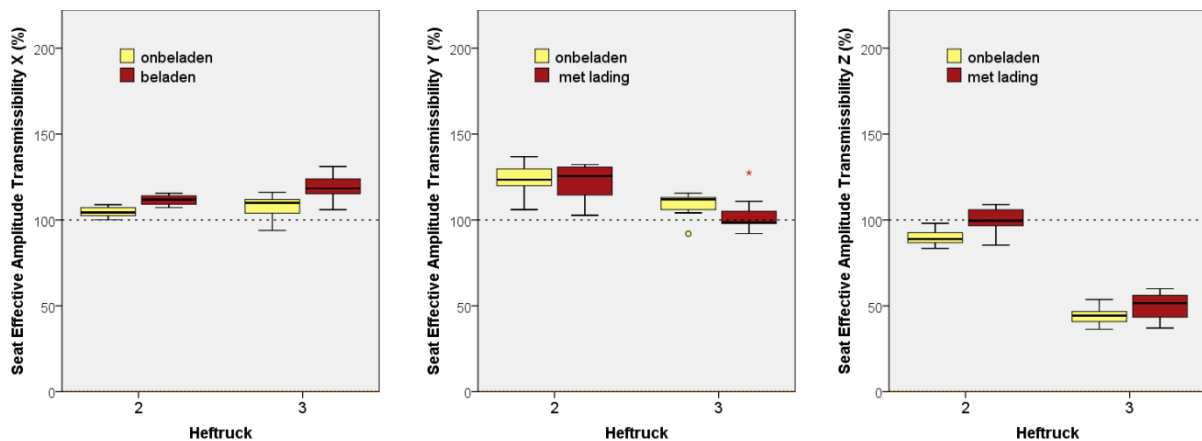
Figuur 9: Gemiddelde rijnsnelheid (in  $km/h$ ) tijdens het rijden met heftruck 2 en 3 (door respectievelijk chauffeur 2 en 3) in de hallen P1-P4, hal 5 en het Stelcon- en straatgedeelte tussen P4 en hal 5. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de vijf onderscheiden hallen en twee buitengedeelten, exclusief de overgangen.



verticale trillingsblootstelling: het rijden met heftruck 3 leidt consequent tot een lagere blootstelling. Figuur 10 laat zien dat dit – wederom – vooral wordt veroorzaakt door de aanzienlijk betere demping van de op heftruck 3 gemonteerde stoel: de SEAT waarde ligt tussen 40% en

50%, terwijl die voor heftruck 2 ongeveer 100% bedraagt. Heftruck 3 leidt, minder dan in vergelijking met de taken van heftruck 1, tot een beperkt hogere blootstelling aan trillingen langs de voor-achterwaarts as. In zijwaartse richting lijkt juist heftruck 3 iets gunstiger. Let wel dat wederom de rijnsnelheden niet dezelfde bleken: de chauffeur van heftruck 2 reed gemiddeld sneller (zie figuur 9), en fors sneller dan de chauffeur van heftruck 1 (vergelijk met figuur 6). Dit zou een verklaring kunnen zijn waarom de verschillen in blootstelling in de voor-achterwaarts richting kleiner zijn (in vergelijking met de heftruck 1-3 verschillen) en in verticale richting juist groter.

Figuur 10 en tabel 8 laten de SEAT waarden voor de gemeenschappelijke rijtaak van de heftrucks 2 en 3 zien. Het beeld blijkt sterk vergelijkbaar met het eerder gemaakte vergelijk (c.f. figuur 7 en tabel 7): in alle richtingen is de stoel van heftruck 2 nauwelijks effectief in het dempen van de trillingen aangeboden vanuit het chassis. Voor heftruck 3 geldt dit ook voor trillingen in het horizontale vlak, maar de stoel blijkt effectief de verticale trillingen te dempen. Gelet op de taken van heftruck 2 en de blootstelling over de gehele werkdag moet daarom een stoel die de verticale trillingen effectief dempt worden aanbevolen. Om de stoelkeuze te vergemakkelijken zijn in



Figuur 10: *Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) tijdens het rijden met heftruck 2 en 3 (door respectievelijk chauffeur 2 en 3) in de ballen P1-P4, hal 5 en het Stelcon- en straatgedeelte tussen P4 en hal 5. Onderscheid is gemaakt naar het rijden met en zonder lading. De weergegeven data zijn een samenvatting van de vijf onderscheiden ballen en twee buitengedeelten, exclusief de overgangen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau 100% aan, d.w.z. het niveau waarbij er geen verschil is tussen de trillingen van de stoelbasis en boven op de zitting.*

Tabel 8: *Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) tijdens het rijden met heftruck 2 en 3 (door respectievelijk chauffeur 2 en 3) in de ballen P1-P4, hal 5 en het Stelcon- en straatgedeelte tussen P4 en hal 5. De weergegeven data zijn een samenvatting van de vijf onderscheiden ballen en twee buitengedeelten gezamenlijk en betreffen uitsluitend het rijden zelf met en zonder belading, dus exclusief het oppakken en wegzetten van de lading en exclusief de overgangen. Ook is de totale tijdsduur van de metingen weergegeven.*

Heftruck	SEAT <sub>x</sub> (%)	SEAT <sub>y</sub> (%)	SEAT <sub>z</sub> (%)	Tijdsduur (s)
2	107.7	124.6	93.1	307
3	112.6	103.4	41.6	355

bijlage C voor het rijden door hal P2 zonder lading de frequentiespectra die aan de stoelbasis zijn gemeten weergegeven. Deze frequentiespectra demonstreren wederom duidelijk het verschil in demping in het lage-frequentiegebied tussen beide stoelen.

### 3.2.3 *Rijsnelheid*

Los van de eerder besproken maatregelen wat betreft vloer / ondergrond en heftruck/stoel is een andere mogelijkheid ter verlaging van de trillingsblootstelling de beperking van de rijsnelheid. Vanuit de literatuur komt naar voren dat mate van (on)gelijkheid van het rijoppervlak tesamen met de rijsnelheid de belangrijkste factoren zijn die invloed hebben op de blootstelling van een chauffeur (zie bijvoorbeeld Oude Vrielink, 2007). Voor de gemeenschappelijke rijpaden, zoals beschreven in paragraaf 3.2.2, is daarom een de relatie tussen de trillingsblootstelling en de gerealiseerde rijsnelheid onderzocht. Figuur 11 geeft daarvan het resultaat, weergegeven als zogenaamde scatterplot. Elk punt is een meetwaarde, bijvoorbeeld voor een hal of een overgang, waarvan zowel de trillingsblootstelling als gemiddelde rijsnelheid bekend was. Het oppakken en wegleggen van lading is niet in de plots meegenomen. Daarnaast zijn de meetwaarden beperkt tot de gemeenschappelijke rijpaden, zodat de vergelijking tussen de chauffeurs zuiver is en niet wordt verstoord door een andere gereden route. De bovenste plots laten de vergelijking zien tussen chauffeur 1 en 2 voor hun gemeenschappelijke taak (P2 – drukkerij – wikkelafdeling); de onderste voor de chauffeurs 2 en 3 (P1 via P4 en buiten naar hal 5 en terug).

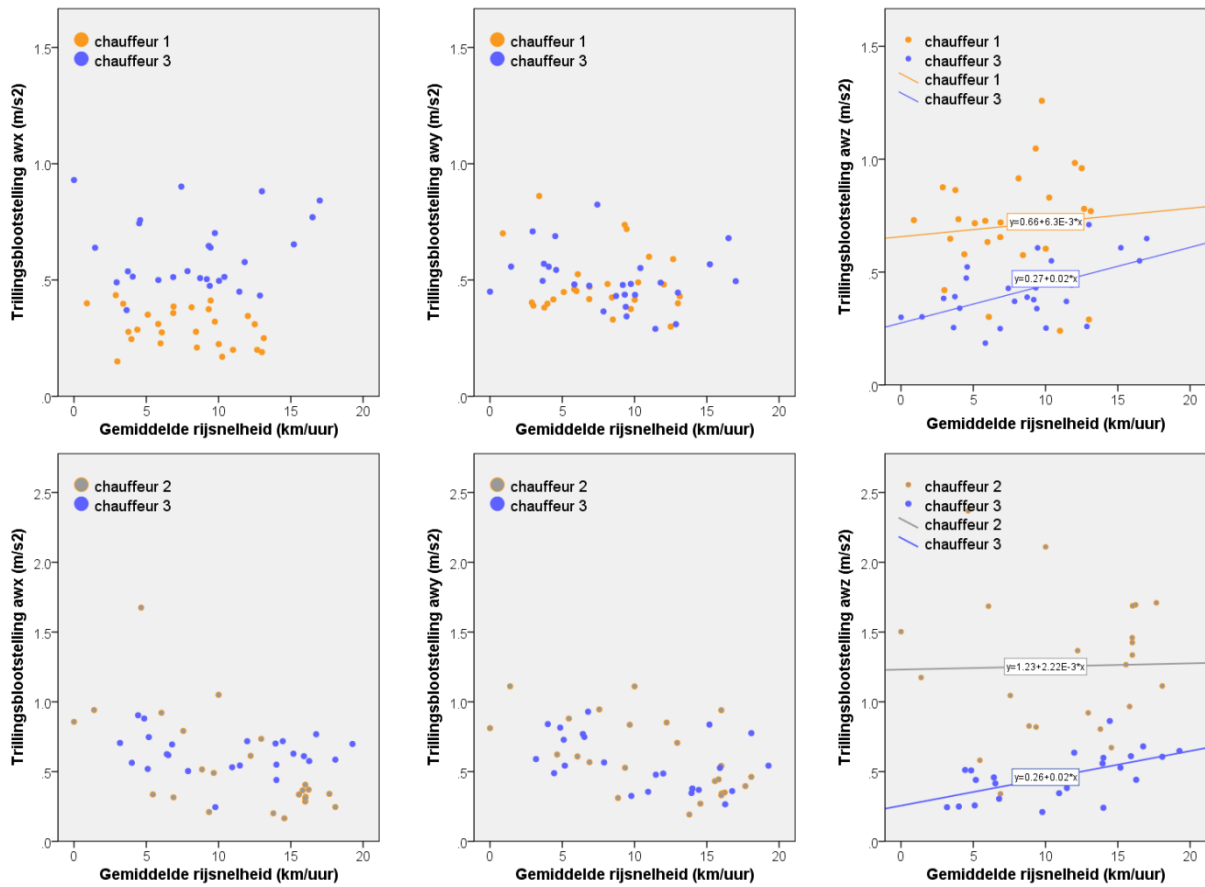
De plots laten geen duidelijke relatie zien tussen de horizontale blootstellingen en de rijsnelheid. Dit geldt voor alle chauffeurs en beide taken. Echter, de verticale blootstelling toont een zwakke relatie: een toenemende trillingsblootstelling met toenemende rijsnelheid. Deze relatie is zeer zwak voor de chauffeurs 1 en 2, maar iets duidelijker voor chauffeur 3. Voor deze laatste geldt dat een lineaire regressie van de meetpunten in beide gevallen een helling van 0.02 oplevert. Dit wil zeggen dat de trillingsblootstelling met  $0.02 \text{ m/s}^2$  zal dalen indien 1 km/uur langzamer gereden wordt. Echter, gezien de enorme spreiding moet dit getal met voorzichtigheid worden gehanteerd. En gezien de enorme spreiding mag dit getal zeker niet zonder meer op de blootstelling van de heftrucks 1 en 2 worden losgelaten.

### 3.2.4 *Taak en belading*

Vanuit theoretische basis mag ook een effect worden verwacht van het al dan niet meenemen van lading. Dit effect blijkt beperkt: zie tabellen in bijlage A en de figuren 5 en 8. De trend is dat het vervoeren van lading een beperkt lagere trillingsblootstelling met zich mee brengt. Dit effect is voor alle trillingsrichtingen waarneembaar. Uit de figuren 6 en 9 blijkt dat dit een zelfstandig effect is en niet veroorzaakt wordt door een eventueel lagere rijsnelheid indien lading vervoerd wordt: de rijsnelheid met en zonder lading wijkt nauwelijks af. Echter, transport van lading en leeg rijden behoort tot de basistaken van de chauffeur, en kan daarom slecht als maatregel worden geadviseerd. Wel is het mogelijk de chauffeurs bewust te maken van dit aspect, zodat zij indien mogelijk en zoveel mogelijk leeg rijden zullen vermijden.

Apart is nog het oppakken en wegzetten van lading bekeken: zie de laatste tabel in bijlage A. Deze activiteit draagt nauwelijks bij aan de verticale trillingsblootstelling, maar wel aan die in de voor-achterwaarts richting, zoals ook verwacht mag worden. Geen duidelijke verschillen tussen

de chauffeurs en heftrucks werden geconstateerd. Ook de SEAT waarden bleken in lijn met het eerder geschetste beeld: zie tabel 9: van heftruck 3 blijkt de stoel het meest effectief te dempen.



*Figuur 11: Relatie tussen de blootstelling aan lichaamstrillingen ( $a_w$  in  $m/s^2$ ) in voor-achterwaarts richting ( $x$ , links), zijwaarts ( $y$ , midden) en verticaal ( $z$ , rechts) voor het rijden met heftrucks 1 en 3 (door respectievelijk chauffeur 1 en 3) in de hallen P2, de drukkerij en de wikkelafdeling (bovenste rij) en voor het rijden met heftruck 2 en 3 (door respectievelijk chauffeur 2 en 3) in de hallen P1-P4, hal 5 en het Stelcon- en straatgedeelte tussen P4 en hal 5. De weergegeven data zijn inclusief de overgangen tussen de hallen en buitenruimte. Onderscheid is gemaakt naar heftruckchauffeur. In de plots van  $a_{wz}$  zijn tevens de regressielijnen van de meetpunten per chauffeur weergegeven. Let wel dat de schalen voor de bovenste plots een ander bereik hebben in vergelijking met de onderste rij.*

*Tabel 9: Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting ( $x$ , links), zijwaarts ( $y$ , midden) en verticaal ( $z$ , rechts) tijdens het pakken en wegzetten van lading (rollen of beladen pallets) met heftruck 1, 2 en 3 (door respectievelijk chauffeurs 1, 2 en 3) op verschillende locaties. Ook is de totale tijdsduur van de metingen weergegeven.*

Heftruck	SEAT <sub>x</sub> (%)	SEAT <sub>y</sub> (%)	SEAT <sub>z</sub> (%)	Tijdsduur (s)
1	107.8	141.7	90.3	1198
2	112.5	147.4	92.6	458
3	103.8	121.4	76.2	221





## 4 Conclusies en aanbevelingen

- Uit het onderzoek blijkt dat alle drie onderzochte chauffeurs worden blootgesteld aan te sterke trillingen overgebracht via de zitting van hun heftruck. Deze conclusie wordt getrokken onder de aanname dat het gemeten werk en het werkpatroon vergelijkbaar is met het werk en het werkpatroon tijdens normale werkdagen.
- Gegeven de Europese en Nederlandse wetgeving en de huidige onderzoeksresultaten mogen de werknemers het werk maximaal 2½-6½ uur uitvoeren alvorens actie moet worden ondernomen. In deze tijd is het pakken en wegzetten van lading en een enkel moment stilstand inbegrepen. De huidige wijze van werken houdt daarom een gezondheidsrisico in.
- Een belangrijke oorzaak van de hoge trillingsbelastingen is dat op twee van de drie heftrucks een stoel is gemonteerd die de verticale trillingen onvoldoende dempt. Dat dit beter kan bewijst de stoel van de derde heftruck. Een aandachtspunt voor alle heftrucks is dat de stoelen niet dempen in voor-achterwaarts richting, of de trillingen vanuit het chassis in die richting zelfs licht versterken. De keuze van een stoel die in ieder geval de verticale trillingen voor minimaal 50% dempt en zo mogelijk ook de trillingen in het horizontale vlak vermindert verdient serieuze aandacht. Hierbij moet er goed op worden gelet dat de dempingskarakteristiek van de stoel past bij de trillingsfrequenties die door het chassis worden geëmitteerd. Een onjuiste keuze kan zelfs in een omgekeerd effect resulteren. Om deze reden zijn voor de drie heftrucks typische frequentiekarakteristieken gegeven in een bijlage van dit rapport. In het lage-frequentiegebied blijken de stoelen van twee van de heftrucks de verticale trillingen onvoldoende af te zwakken; juist in dit gebied doet de stoel van de derde heftruck dit aanzienlijk beter. Zonodig of bij twijfel moet een alternatieve stoel worden getest.
- Een andere oorzaak is gelegen in het niet voldoende egaal zijn van de rijpaden, met name daar waar de rij snelheden relatief hoog zijn. Vooral de hallen P2, P3 en hal 5 aan de overkant van de Newtonstraat verdienen de aandacht. Echter, de berekeningen in het huidige rapport laten zien dat het egaliseren van deze ruimten voor één van de chauffeurs met de huidige heftruck niet zal leiden tot een zódanige vermindering van de blootstelling dat deze zonder gezondheidsrisico's kan werken. Dit betekent dat maatregelen uitsluitend gericht op de rijpaden onvoldoende zullen zijn.
- Een mogelijk aandachtspunt is het beperken van de maximale rij snelheid, zeker daar waar de vloeren ongelijk zijn, en het zoveel als mogelijk is rijden mét lading. Welke winst (in termen van blootstellingsvermindering) met een rij snelheidsbeperking te behalen valt is op grond van het huidige onderzoek niet goed te voorspellen. Dit werd met name veroorzaakt door de grote spreiding in de meetdata, waarbij ook hoge blootstellingen bij lage rij snelheden werden geconstateerd. Wel bleek uit de metingen een consequent lagere blootstelling indien mét lading werd gereden, een effect onafhankelijk van de rij snelheid. Hoewel dit laatste punt slecht als maatregel kan worden gezien, zal het wellicht goed zijn

dit punt onder de aandacht van de chauffeurs te brengen, met het oog op het vergroten van de bewustwording.

## Referenties en relevante kennis

- Bovenzi, M. and C. T. J. Hulshof (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.
- 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.
- Hulshof, C. and B. Veldhuijzen van Zanten (1987). "Whole-body vibration and low-back pain." *International Archives of Occupational and Environmental Health* 59(3): 205-220.
- ISO-2631-1 (1997). *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements*. Geneva, ISO: 31 pp.
- ISO-2631-5 (2004). *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks*. Geneva, ISO: 20 pp.
- ISO-8041 (2005). *Human response to vibration - measuring instrumentation*. Geneva, ISO: 90 pp.
- Oude Vrielink, H.H.E., 2007. *Analyse van de blootstelling aan trillingen bij gebruik van heftrucks*. ErgoLab Research B.V., Bennekom, rapport 2007-03, 56 pp. Te downloaden via [www.ergolabresearch.eu](http://www.ergolabresearch.eu).
- Paddan, G. S. and M. J. Griffin (2002). "Evaluation of whole-body vibration in vehicles." *Journal of Sound and Vibration* 253(1): 195-213.
- 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.
- Tiemessen, I. J., C. T. J. Hulshof, et al. (2007). "An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review." *International Journal of Industrial Ergonomics* 37(3): 245-256.
- Tiemessen, I. J. H., C. T. J. Hulshof, et al. (2008). "Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern." *Occupational and Environmental Medicine* 65(10): 667-675.



## 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 rijnsnelheid in km / uur  
 meas. (n) : aantal verschillende meetsegmenten  
 $a_w$  : frequentie-gewogen RMS versnelling (incl. k-factor) lichaamstrillingen 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

Onderscheid is gemaakt naar onbeladen en beladen rijden. De getallen in vet lettertype geven aan dat de actiewaarde volgens de Europese norm wordt overschreden.

<b>Sitting on forklift truck standing still with stationary running engine</b>												
reference	forklift	task	$t_m$	average	meas.	$a_w$	VDV	D	$S_e$	$t_d$	8h VDV	$S_{ed}$
axis	truck		(s)	speed (km/h)	(n)	( $m/s^2$ )	( $m/s^{1.75}$ )	( $m/s^2$ )	(MPa)	(s)	( $m/s^{1.75}$ )	(MPa)
x		Drukkerij				0.02	0.13	0.72				
y	1	Wikkelaafdeling	207	0	13	0.05	0.23	0.52	0.019			
z		Opslag P2				0.06	0.24	0.38				
x												
y	2											
z												
x		Intern transport				0.01	0.02	0.08				
y	3	hallen P1-P2 en	55	0	0	0.02	0.06	0.13	0.005			
z		overkant				0.02	0.05	0.05				

<b>Driver 1 driving with forklift 1</b>												
reference	forklift	task	$t_m$	average	meas.	$a_w$	VDV	D	$S_e$	$t_d$	8h VDV	$S_{ed}$
axis	truck		(s)	speed (km/h)	(n)	( $m/s^2$ )	( $m/s^{1.75}$ )	( $m/s^2$ )	(MPa)	(s)	( $m/s^{1.75}$ )	(MPa)
x						0.40	5.46	7.54			8.86	
y	1	Total task	3757	4.3	352	0.40	4.74	6.87	0.31	26100	7.70	0.43
z						<b>0.56</b>	7.19	9.47			<b>11.67</b>	
x						0.34	3.29	6.33				
y	1	Empty driving	1140	7.0	122	0.46	3.95	6.32	0.30			
z						0.70	6.24	9.06				
x						0.30	3.16	4.77				
y	1	Laden driving	1213	6.6	156	0.43	3.59	5.74	0.25			
z						0.66	5.74	7.39				

<b>Driver 2 driving with forklift 2</b>												
reference	forklift	task	t <sub>m</sub>	average	meas.	a <sub>w</sub>	VDV	D	S <sub>e</sub>	t <sub>d</sub>	8h VDV	S <sub>ed</sub>
axis	truck		(s)	speed (km/h)	(n)	(m/s <sup>2</sup> )	(m/s <sup>1.75</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	(MPa)	(s)	(m/s <sup>1.75</sup> )	(MPa)
x						0.48	5.50	8.02				
y	3	Total task	1393	6.0	125	0.49	5.36	9.67	0.42	26100	<b>11.43</b>	
z						<b>0.91</b>	9.54	12.24			<b>19.84</b>	<b>0.68</b>
x						0.56	4.68	7.29				
y	3	Empty driving	435	10.5	69	0.67	4.72	8.80	0.40			
z						1.28	8.77	11.92				
x						0.33	2.57	4.87				
y	3	Laden driving	445	8.4	56	0.47	4.13	8.33	0.32			
z						0.97	6.95	8.89				

<b>Driver 3 driving with forklift 3</b>												
reference	forklift	task	t <sub>m</sub>	average	meas.	a <sub>w</sub>	VDV	D	S <sub>e</sub>	t <sub>d</sub>	8h VDV	S <sub>ed</sub>
axis	truck		(s)	speed (km/h)	(n)	(m/s <sup>2</sup> )	(m/s <sup>1.75</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	(MPa)	(s)	(m/s <sup>1.75</sup> )	(MPa)
x						<b>0.59</b>	5.46	6.45			<b>10.68</b>	
y	2	Total task	1779	8.2	208	0.48	4.96	8.57	0.30	26100	<b>9.70</b>	0.47
z						0.42	3.82	4.53			7.48	
x						0.61	4.69	5.99				
y	2	Empty driving	803	8.9	99	0.53	4.39	8.17	0.29			
z						0.45	3.36	4.14				
x						0.58	4.26	5.24				
y	2	Laden driving	756	9.9	95	0.45	3.80	6.70	0.24			
z						0.43	3.02	3.90				

<b>All drivers: loading and unloading</b>												
reference	Driver /	task	t <sub>m</sub>	average	meas.	a <sub>w</sub>	VDV	D	S <sub>e</sub>	t <sub>d</sub>	8h VDV	S <sub>ed</sub>
axis	truck		(s)	speed (km/h)	(n)	(m/s <sup>2</sup> )	(m/s <sup>1.75</sup> )	(m/s <sup>2</sup> )	(MPa)	(s)	(m/s <sup>1.75</sup> )	(MPa)
x						0.55	5.09	6.90				
y	1	(un) loading	1198		61	0.34	3.14	4.25	0.16			
z						<b>0.28</b>	2.81	3.47				
x						0.54	2.95	4.16				
y	2	(un) loading	221		14	0.34	2.17	4.41	0.15			
z						0.16	1.22	2.04				
x						0.54	4.44	6.83				
y	3	(un) loading	458		25	0.28	2.49	5.11	0.18			
z						0.25	2.17	2.93				

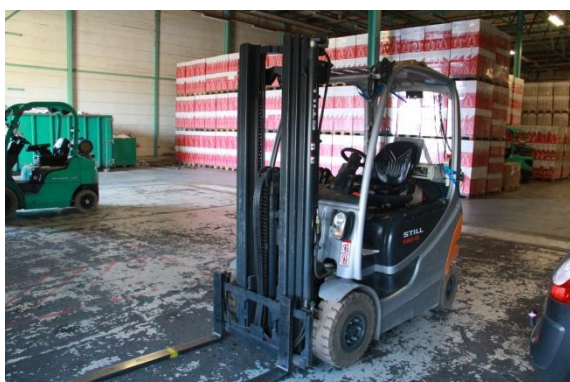
## B: Fotogalerij van de gemeten heftrucks



1. Mitsubishi FG20N (open cabine) met United Seats Ergo Comfort Lift stoel [2174]

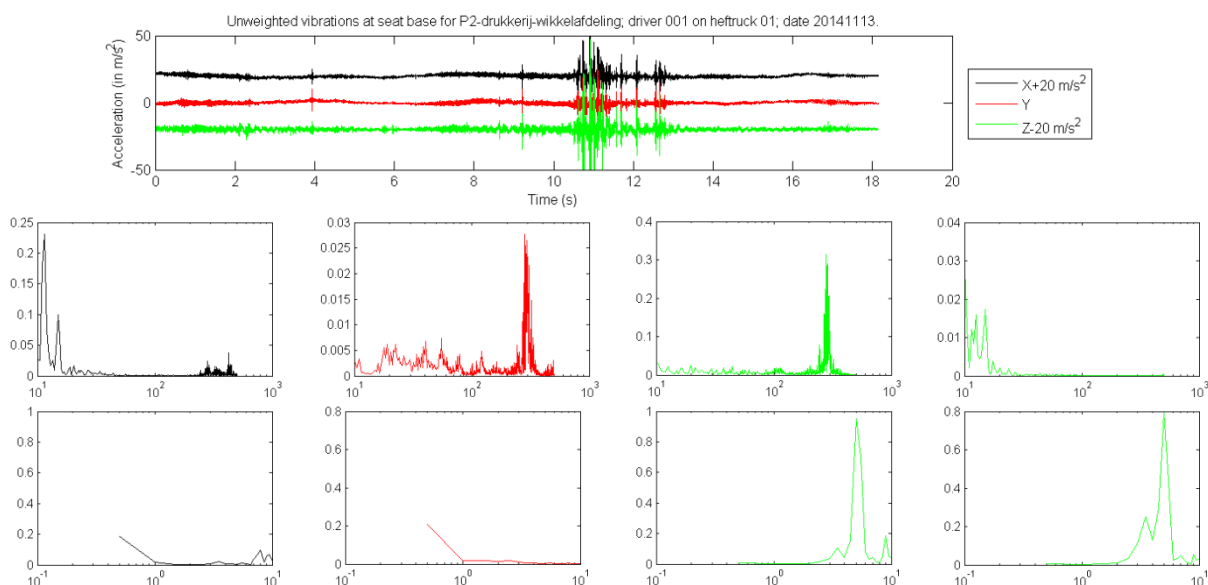


2. Mitsubishi FG20N met originele Mitsubishi (Be-Ge) stoel (open cabine) [2175]



3. Still RX60-25 met Grammer MSG65/521 stoel

## C: Tijdsreeën en frequentiespectra van de heftrucks

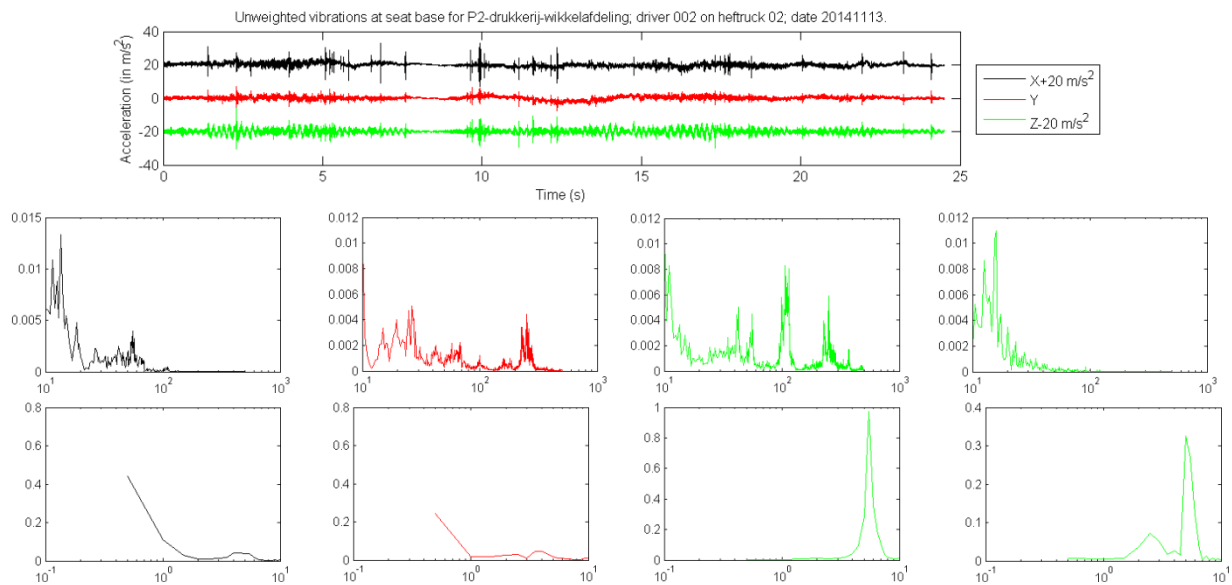


Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingen (in  $m/s^2$ ) bij **heftruck 1** met chauffeur 1 tijdens rijden zonder belading door hal P2 bij de uitvoering van **taak 1**, als tijdsree van ongeveer 18 s (bovenste plot; de gemiddelde rijnsnelheid bedroeg 7.5 km/h), voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk +20 en -20  $m/s^2$  verschoven.

De acht plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdsree. De bovenste rij zijn van links naar rechts de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen) en die van de stoelzitting onder de chauffeur (alleen Z) voor het bereik 10-1000 Hz (logaritmische schaal). De onderste rij toont in dezelfde volgorde het bereik 1-10 Hz. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

Het frequentiespectrum op de stoelzitting vertoont een piek rond 5 Hz voor de Z-richting. De overeenkomstige piek van de stoelbasis blijkt qua grootte sterk overeen te komen. Deze frequentie wordt dus nauwelijks gedempt door de stoel. De hoge frequenties (vanaf 30 Hz) van de stoelbasis dringen niet door tot de stoelzitting.

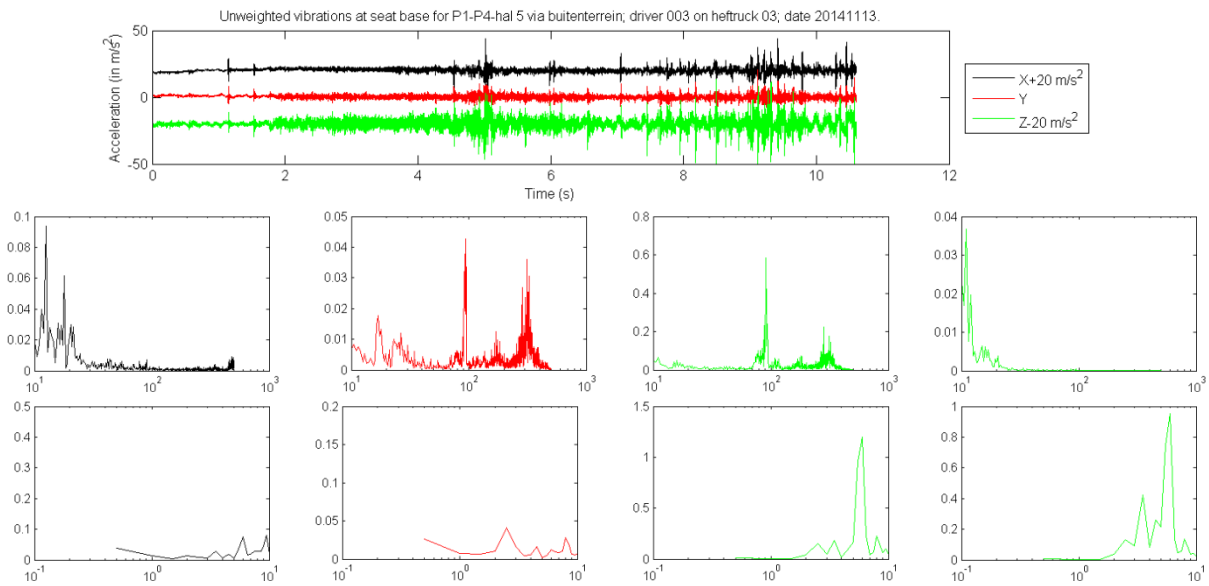




Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingen (in  $\text{m/s}^2$ ) bij **heftruck 3** met chauffeur 3 tijdens rijden zonder belading door hal P2 bij de uitvoering van **taak 1**, als tijdserie van ongeveer 24 s (bovenste plot; de gemiddelde rijsnelheid bedroeg 8.6 km/h), voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk +20 en  $-20 \text{ m/s}^2$  verschoven. Let wel dat in de titel van de plot een andere nummering voor chauffeur en heftruck is gebruikt.

De acht plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdserie. De bovenste rij zijn van links naar rechts de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen) en die van de stoelzitting onder de chauffeur (alleen Z) voor het bereik 10-1000 Hz (logaritmische schaal). De onderste rij toont in dezelfde volgorde het bereik 1-10 Hz. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

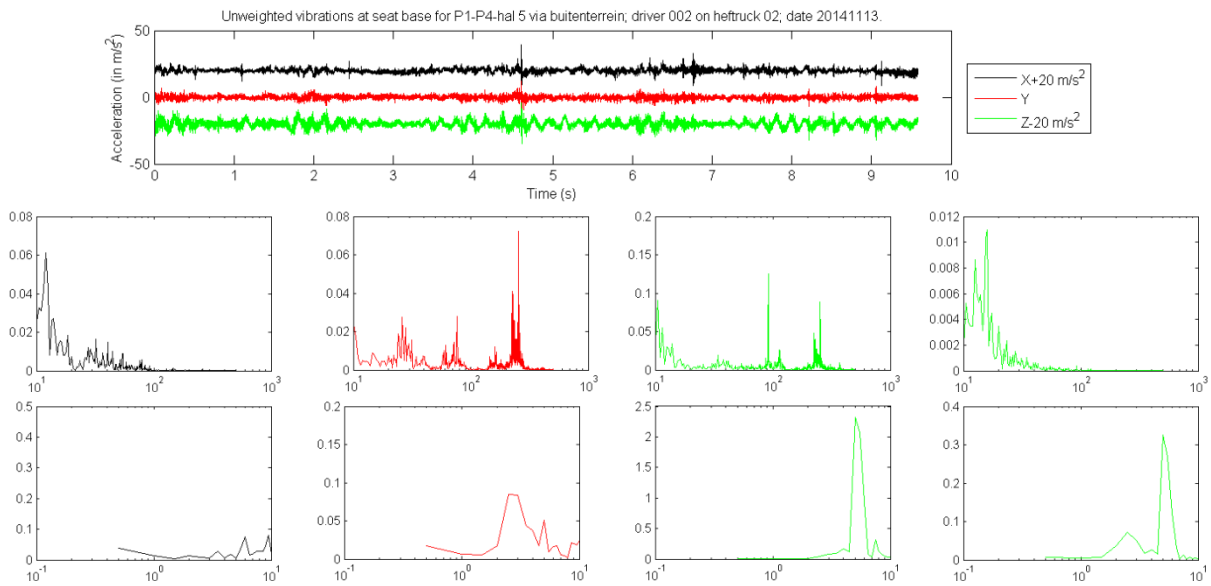
Het frequentiespectrum op de stoelzitting vertoont een piek rond 5 Hz voor de Z-richting. De overeenkomstige piek van de stoelbasis (5-6 Hz) blijkt aanzienlijk groter. Deze frequentie wordt door de stoel dus goed gedempt. Verder dringen de hoge frequenties (vanaf 50 Hz) van de stoelbasis niet door tot de stoelzitting.



Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingen (in  $m/s^2$ ) bij **heftruck 2** met chauffeur 2 tijdens rijden zonder belading door hal P2 bij de uitvoering van **taak 2**, als tijdserie van ongeveer 11 s (bovenste plot; de gemiddelde rijnsnelheid bedroeg 14.8 km/h), voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk +20 en -20  $m/s^2$  verschoven. Let wel dat in de titel van de plot een andere nummering voor chauffeur en heftruck is gebruikt.

De acht plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdserie. De bovenste rij zijn van links naar rechts de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen) en die van de stoelzitting onder de chauffeur (alleen Z) voor het bereik 10-1000 Hz (logaritmische schaal). De onderste rij toont in dezelfde volgorde het bereik 1-10 Hz. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

Het frequentiespectrum op de stoelzitting vertoont een piek rond 6 Hz voor de Z-richting. De overeenkomstige piek van de stoelbasis blijkt qua grootte maar beperkt kleiner. Deze frequentie wordt dus niet goed gedempt door de stoel. De hoge frequenties (vanaf 30 Hz) van de stoelbasis dringen niet door tot de stoelzitting.



Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingen (in  $\text{m/s}^2$ ) bij **heftruck 3** met chauffeur 3 tijdens rijden zonder belading door hal P2 bij de uitvoering van **taak 2**, als tijdserie van ongeveer 9 s (bovenste plot; de gemiddelde rijnsnelheid bedroeg 17.4 km/h), voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk +20 en  $-20 \text{ m/s}^2$  verschoven. Let wel dat in de titel van de plot een andere nummering voor chauffeur en heftruck is gebruikt.

De acht plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdserie. De bovenste rij zijn van links naar rechts de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen) en die van de stoelzitting onder de chauffeur (alleen Z) voor het bereik 10-1000 Hz (logaritmische schaal). De onderste rij toont in dezelfde volgorde het bereik 1-10 Hz. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

Het frequentiespectrum op de stoelzitting vertoont een piek rond 5 Hz voor de Z-richting. De overeenkomstige piek van de stoelbasis (5 Hz) blijkt veel groter. Deze frequentie wordt door de stoel dus uitstekend gedempt. Verder dringen de hoge frequenties (vanaf 50 Hz) van de stoelbasis niet door tot de stoelzitting.