

Rapport

Blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van heftrucks bij intern transport van doe-het-zelf producten

Measurement of the daily exposure to whole-body vibration during internal transportation of stapled do-it-yourself products using forklift trucks

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2013-0904



Rapport

**Blootstelling aan lichaamstrillingen van
chauffeurs van heftrucks bij intern transport
van doe-het-zelf producten**

*Measurement of the daily exposure to whole-body
vibration during internal transportation of stapled
do-it-yourself products using forklift trucks*

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2013-0904

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 25 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. Many of the reports can be downloaded from 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)

Title	Blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van heftrucks bij intern transport van doe-het-zelf producten
Author(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Report number	2013-0904
ISBN-number	
Date of publication	April 2013
Language	NL
Confidentiality	
Project code	
Price	-
Publisher	ErgoLab Research B.V. Alexanderweg 56 NL-6721 HH Bennekom
Telephone	+31 6 140 242 14
E-mail	huub.oudevrielink@ergolabresearch.eu
Internet	www.ergolabresearch.eu

© 2013 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 enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

Samenvatting

Het bedrijf _____ te _____ kent een veelheid aan taken met behulp van heftrucks. Om vast te stellen of de heftruckchauffeurs dagelijks worden blootgesteld aan te hoge doses lichaamstrillingen is ErgoLab Research B.V. gevraagd metingen uit te voeren. Het doel was een betrouwbare schatting te maken van de blootstelling en om aan te geven, indien nodig, welke maatregelen het meest effectief zullen zijn in het reduceren van de blootstelling.

Metingen hebben plaatsgevonden volgens ISO voorgeschreven regels. Ze hebben plaatsgevonden bij in totaal 13 chauffeurs tijdens 7 taken. Deze taken zijn geselecteerd omdat deze op voorhand als meest risicovol werden gedacht. De metingen zijn verricht aan vier verschillende heftrucks en een reachtruck van de merken Jungheinrich en Still. Vier van deze waren elektrisch aangedreven. Alle chauffeurs hebben hun taak twee keer uitgevoerd: normaal rijdend en “beheerst”. Bij de laatste werden overgangen, drempels en bochten voorzichtiger genomen.

Zeven chauffeurs rapporteerden klachten van nek, schouders of rug en zes van hen gaven aan dat het werk op de heftruck naar hun mening (mede) de oorzaak van het ontstaan ervan is geweest.

Voor vijf van de taken, te weten de aanvoer van kort hout in het geautomatiseerd magazijn, het aanvullen van de “order picking” stellingen met een reachtruck, het laden van trailers aan de [straat], het lossen van trailers aan de [straat], en het interne transport van tussenopslag naar de bulk aan de [straat], blijft de blootstelling aan lichaamstrillingen onder de wettelijke norm. Wel zijn piekbelastingen gemeten, veroorzaakt door ongelijke overgangen en beschadigingen van de rijvloer. De piekbelastingen zijn zódanig dat geadviseerd wordt deze overgangen en beschadigingen zo vlak mogelijk te maken.

De uitvoering van twee van de taken, het laden en lossen van trailers op de centrale laadplaats en het transport van tussenopslag naar de bulk via het buitenterrein van de [straat], levert een te hoge verticale (Z-richting) trillingsblootstelling op. De belangrijkste oorzaak hiervan is het rijden met relatief hoge snelheid (10-15 km/uur) over de ongelijk liggende betonplaten en de ongelijke overgangen tussen de betonnen platen en de gladde cementvloer. Geadviseerd wordt in ieder geval de rijvloeren vlakker te maken en te houden. Een simulatie laat zien dat de combinatie van een vlakkere vloer, vergelijkbaar met de huidige cementvloeren van de magazijnen, met meer beheerst rijgedrag de trillingsblootstelling ruim onder de gezondheidkundige bovengrens brengt.

Hoewel het slechts een momentopname is geweest, laten de metingen zien dat een meer beheerst rijgedrag de trillingsblootstelling tot 20% kan verminderen. De gegeven instructie leidde niet zozeer tot lagere maximale rij snelheden, maar meer tot het zichtbaar langzamer passeren van drempels, ongelijke overgangen en bochten.

De gemonteerde stoelen blijken in alle gevallen de trillingen in verticale richting effectief te verminderen (met 16-56%). Hierbij bleken de pneumatisch geveerde Savas Columbus stoelen niet duidelijk effectiever dan de Grammer stoelen met een mechanische vering. Wel bleek de oudere Savas Columbus stoel minder effectief ten opzichte van de jongere, wat kan wijzen op gebrek aan

noodzakelijk onderhoud. Hoewel dit niet is onderzocht zou om deze reden op de centrale laadplaats een vlakke rijvloer gecombineerd met een meer effectieve stoeldemping de verticale trillingsblootstelling ook onder de gezondheidkundige norm kunnen brengen.

Aanbevolen wordt binnen het bedrijf vooral aandacht te besteden aan het vlak maken van de rijvloeren waar met heftrucks met snelheden boven ongeveer 10 km/uur wordt gereden. Verder is aandacht nodig voor de overgangen tussen de vloergedeelten binnen magazijnen en van magazijnen naar buitenterreinen. Bovenstaande maatregelen zullen, in combinatie met tijdig onderhoud van rijvloeren en voertuigen (inclusief stoelen!), de trillingsblootstelling tot acceptabel niveau terugbrengen.

Inhoud

Samenvatting	5	
1	Introductie, probleem en doel	9
2	Materialen, methode en procedure	11
2.1	Chauffeurs	11
2.2	Heftrucks en reachtruck	11
2.3	Taken	13
2.4	Meetinstrumenten en procedure	15
2.5	Data verwerking	17
2.6	Presentatie van de data en statistiek	19
3	Resultaten en bespreking	21
3.1	Taak 1: aanvoer in het geautomatiseerd magazijn	21
3.2	Taak 2: werkzaamheden centrale laadplaats: laden en lossen van trailers	22
3.3	Taak 3: aanvullen stellingen met reachtruck, magazijn 5 en 6	27
3.4	Taak 4: laden van trailers in magazijn 9c ([straat])	28
3.5	Taak 5: lossen van trailers ([straat])	30
3.6	Taak 6a: transport van tussenopslag naar bulk (binnen; [straat])	31
3.7	Taak 6b: transport van tussenopslag naar bulk (via buiten; [straat])	33
4	Conclusies en aanbevelingen	39
Bijlagen		41
A:	meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken	41
B:	fotogalerij van de gemeten voertuigen	42

1 Introductie, probleem en doel

Het bedrijf [bedrijf] te [plaatsnaam] is toonaangevend specialist in doe-het-zelf producten voor de huizenmarkt, met als belangrijke afnemers de bouwmarkten en doe-het-zelf winkels. Tot het leveringsassortiment behoren o.a. vloeren, kasten, wanden, plafonds, opbergsystemen, maar ook plaatmateriaal en geschaafd en ruw hout van uiteenlopende afmetingen. [bedrijf] verzorgt tevens de distributie van andere assortimenten, o.a. van [producten]. [bedrijf] bestaat naast het eigen productiebedrijf [locatie] fabriek, waar een deel van de producten wordt gemaakt. Deze producten worden in meerdere magazijnen op voorraad gehouden, zodat snel aan een klantvraag kan worden voldaan. Daarnaast worden tevens de producten van het leveringsprogramma die elders worden geproduceerd hier op voorraad gehouden en gedistribueerd.

De vele producten opgeslagen in meerdere magazijnen, de grote variatie in afmetingen, maar ook de relatief beperkte omvang van door de klanten bestelde partijen, veroorzaken een complex logistiek uitleveringsproces. Daarbij komt dat de magazijnen verspreid zijn over twee verschillende locaties. Bestellingen worden in de centrale laadplaats verzameld en met behulp van heftrucks in trailers van de (externe) vervoerders geladen. Trailers worden ook gebruikt om de producten uit de verschillende magazijnen op ordervraag naar de centrale laadplaats te vervoeren. En voor het vervoer van producten van de [locatie] fabriek naar de magazijnen worden eveneens trailers gebruikt. De aanvoer van extern geproduceerde producten gaat via trailers of containers. Het uitladen van de trailers en containers gebeurt weer met heftrucks. Een deel van de heftrucks wordt uitsluitend gebruikt voor het zogenoemde orderpikken, dit is het klaarzetten van besteld materiaal op de verzamelplaats van een magazijn. Andere heftrucks zorgen vervolgens voor het overzetten van de bestelling naar een klaarstaande trailer.

Binnen [bedrijf] zijn ongeveer 25 chauffeurs voltijds bezig met het transport. Hiervoor zijn 28 heftrucks en 5 reachtrucks beschikbaar. Hierbij wordt overigens niet uitsluitend gereden: tevens wordt geregeld gestopt en afgestapt om andere handelingen te verrichten, waaronder balkjes leggen onder of op orderstapels, of verpakkingsmateriaal te verwijderen. Als onderdeel van de in de Arbo-wet vastgelegde Risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E) was het noodzakelijk de blootstelling aan trillingen van de heftruckchauffeurs te beoordelen. Gezien de grote variatie aan in gebruik zijnde heftrucks (incl. gemonteerde stoelen), de uiteenlopende taken, de diverse verhardingen waarover gereden wordt en de verschillen in rijgedrag tussen de chauffeurs, was een betrouwbare schatting van de dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van de chauffeurs zonder nadere meting niet mogelijk. ErgoLab Research B.V. is gevraagd metingen uit te voeren aan in eerste instantie die taken die op voorhand als meest belastend werden ingeschat.

In de bovengenoemde Arbowet wordt verwezen naar de EU trillingsrichtlijn 2002/44/EG. De daar gestelde grenzen voor blootstellingen aan hand-arm trillingen en lichaamstrillingen (whole-body vibration ofwel WBV) voor werknemers tijdens een willekeurige werkdag zijn integraal in de Nederlandse wetgeving overgenomen. Gedefinieerd zijn actiewaarde en grenswaarde. Overschrijding van de grenswaarde voor lichaamstrillingen (1.15 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 moet worden onderbroken of gestopt. Bij overschrijding van de actiewaarde (0.5 m/s^2) moeten maatregelen volgen om de blootstelling te verminderen tot onder deze waarde in de nabije toekomst.

Doel van de metingen was om een betrouwbare schatting van de dagelijkse blootstelling bij het uitvoeren deze taken te verkrijgen. De volgende vragen werden daarbij beantwoord:

1. Hoe groot is voor elk van de taken de geschatte normale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van de heftruckchauffeur? Blijft de geschatte dagelijkse blootstelling beneden de norm (i.e. de actiewaarde en grenswaarde)? Blijft de belasting door schokken beneden de gezondheidkundige grens?
2. In hoeverre kan een eventueel te hoge blootstelling worden toegeschreven aan één of meer specifieke onderdelen van de taak? Met andere woorden: welke onderdelen van de werktak dragen vooral bij aan de dagelijkse blootstelling?
3. Is de gemonteerde stoel effectief in het dempen van de trillingen overgebracht door het chassis?
4. Is een eventueel te hoge blootstelling te verminderen door aanpassing van het rijgedrag van de chauffeur?

Bij de inrichting van de metingen zijn de volgende overwegingen van belang geweest:

- De afstand waarover gereden wordt is variabel. Het transport vraagt zelden meer dan enkele minuten rijtijd met één lading.
- De chauffeurs voeren de gehele werkdag (i.e. 8 uur) de beschreven werkzaamheden uit. Afhankelijk van de behoefte worden door hen soms ook andere hand- en spandiensten verricht. De variatie tussen de chauffeurs in lichaamsgewicht en rijgedrag is groot.
- De meeste heftrucks zijn in eigendom van het bedrijf. Er is een breed scala aan merken en typen aanwezig. De meeste heftrucks rijden op volrubber banden en het bedrijf heeft bij meerdere heftrucks geïnvesteerd in luchtgeveerde Savas Columbus stoelen.
- Grote delen van de ondergrond waarover gereden wordt bestaat uit betonplaten met metalen rand die, als gevolg van de rijbelasting in combinatie met de bodemgesteldheid, niet altijd op dezelfde hoogte liggen. Meerdere magazijnen zijn voorzien van een onderheide betonvloer met gladde cementdeklaag, waarin dilatatievoegen en richels aanwezig zijn, en soms ook beschadigingen van het rijoppervlak en (lokale) verzakkingen. Ook is een deel van het buitenterrein vlak geasfalteerd, waarin weer goten zijn aangebracht voor de waterafvoer.

2 Materialen, methode en procedure

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens het rijden op vijf verschillende machines bij zeven verschillende praktijktaken. De metingen zijn uitgevoerd op drie verschillende werkdagen (13-12-2012, 17-01-2013 en 24-01-2013) met in totaal 13 ervaren medewerkers van het bedrijf tijdens hun normale werkzaamheden. Zij zijn gevraagd de taken eerst op de voor hen normale wijze uit te voeren, waarna nogmaals op een beheerste manier, daarbij anticiperend op te nemen bochten en op drempels, hobbels, gaten, of op de rijvloer liggende voorwerpen, zodat deze met lagere of lage snelheid worden gepasseerd.

De metingen zijn verricht met een frequentie van 4096 s^{-1} . Bij de analyse zijn meetgegevens in eerste instantie per seconde samengevat zodat per meting een sterk gereduceerde dataset werd gecreëerd. Elk van deze datasets werd gecorrigeerd voor perioden van stilstand en van de stoel afstappen. Indien voor een gemeten taak de op deze wijze bepaalde blootstelling ver onder de wettelijke risicogrens bleef, werd een nauwkeuriger analyse van de taakonderdelen niet meer van belang geacht. Dit was bij vijf taken het geval. Voor twee taken bleek de uitkomst rond of boven de actiewaarde te liggen, en werd een nadere en exacte analyse van de oorspronkelijke ruwe data uitgevoerd. Van deze taken zijn ook de blootstellingen per taakonderdeel geïdentificeerd.

2.1 Chauffeurs

Metingen zijn uitgevoerd met 13 vaste chauffeurs. De chauffeurs zijn mede geselecteerd met het oog op een brede variatie in lichaamsgewicht. De kenmerken van de chauffeurs als groep zijn weergegeven in tabel 1. Zeven van hen rapporteerden lichamelijke klachten in het voorbije jaar, voornamelijk in de nek en schouders ($n=6$) en rug ($n=4$). Slechts één van hen gaf aan dat de klachten niet 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 ($n=13$). Weergegeven zijn gemiddelde en de minimum en maximum waarde.

	Leeftijd (jaren)	Lengte (cm)	Lichaams- gewicht (kg)	Ervaring heftruckwerk (jaren)	Arbeid met heftruck ¹ (weken / jaar)	Arbeid met heftruck ² (uren / week)
Gemiddelde	47	180	87	18	47	37
Minimum	35	165	65	5	43	14
Maximum	54	190	103	30	50	45

¹aantal weken per jaar, zonder vakantiedagen. ²d.i. inclusief reguliere pauzes.

2.2 Heftrucks en reachtruck

Het onderzoek is uitgevoerd met vijf machines, waarvan vier elektrisch aangedreven en één met verbrandingsmotor op lpg (voertuig 5 in tabel 2). De vier heftrucks waren van het 4-wiel type. De vijfde machine, een reachtruck, had een dubbel wiel midden-achter. In tabel 2 zijn enkele

kenmerken van de heftrucks en reachtruck vermeld. Foto's van de voertuigen zijn afgebeeld in bijlage B.

Tabel 2: Kenmerken van de heftrucks betrokken in de metingen

Voertuig	Fabrikant Type ³	Bouwjaar	Massa (leeg; kg)	Hefvermogen (kg)	Bandentype, maatvoering ¹	Stoeltype	Stoeldemping, richting ²
1	Jungheinrich EFG 430 (dichte cabine) [V782]	2005	± 5100	3000	Volrubber v: Gumasol Softy 23x10-12 a: Solideal Extreme 18x7-8	Grammer Primo met MSG85 (?) veerpakket	Z: m X, Y: -
2	Jungheinrich EFG 430 (open cabine) [EHT 744]	2007	± 5100	3000	Volrubber v: Solideal Extreme 23x10-12 a: Solideal Magnum 18x7-8	Savas Columbus	Z: p,a X, Y: -
3	Jungheinrich ETV C20 (reachtruck, open cabine) [V767]	2011	± 4000	2000	Volrubber v: Continental CSE-Robust SC 15 180/60-10 a: ?	Grammer MSG65/522	Z: m X, Y: -
4	Still RX60-35 [V825]	2011	± 5500	3500	Volrubber v: Continental CSE-Robust SC 20 180/70-8 a: Continental CSE-Robust SC 20 315/45-12	Grammer MSG65/521	Z: m X, Y: -
5	Jungheinrich TFG 435s (dichte cabine) [V901]	2011	± 4800	3500	Volrubber v: Continental CSE-Robust SC 20 250/75-12 a: Solideal Magnum 6.50-10	Savas Columbus	Z: p,a 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 Taken

Gemeten zijn de volgende zeven taken. Elke taak is bemeten met 2 of 3 chauffeurs. Alle chauffeurs waren gewoon het werk uit te voeren.

1. Aanvoer in het geautomatiseerd magazijn: vanaf gereedstaande trailers op het geasfalteerde terrein of vanaf gereedstaande gestapelde voorraad werden zogenaamde cassettes en trays met een grote variatie aan (meestal) houtwaren getransporteerd naar de aanvoerband van het geautomatiseerd magazijn. In geval van storingen in deze aanvoer moest soms even gewacht worden. Ook kwam het voor dat aangevoerde pakketten niet werden geaccepteerd. Deze werden aan de andere zijde van de aanvoerband weer uitgeworpen. De taak hield tevens in dat de uitgeworpen pakketten opnieuw werden ingevoerd, dan wel werden verzameld als tijdelijke opslag elders op het terrein. De ondergrond waarover gereden werd bestond voor het grootste gedeelte uit vlak asphalt met een ondiepe afwateringsgoot, en bij de uitworp uit een vlakke vloer. De overgang tussen uitworp en asphalt was ongelijk. De eenzijdig te rijden afstand tussen trailer/stapel en magazijn bedroeg enkele tientallen meters. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn vele cycli gemeten; de meettijd per chauffeur bedroeg 21-24 minuten (normaal rijden) en 21-24 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 1.
2. Laden en lossen van trailers op de centrale laadplaats: vanuit een tussenopslag werden gereedstaande pakketten met doe-het-zelf producten geladen in lege trailers in een overdekte hal. Ook werden volle trailers uitgeladen (gelost) waarbij de pakketten met doe-het-zelf producten over de verschillende tussenopslagen werden gedistribueerd of elders naar magazijnen werden gebracht. Bij het laden en lossen moesten soms balkjes worden gelegd onder of tussen de pakketten, waarvoor de chauffeur van de heftruck afstapte. De ondergrond van de overdekte hal rond de trailerplaatsen bestond uit betonplaten als vloerdelen, die op diverse plaatsen ongelijk lagen. De vloer van de tussenopslag was een glad cementvloer; de overgang naar de vloer met betonplaten was meestal ongelijk. De ondergrond van de magazijnen was voor het grootste gedeelte een vlakke cementvloer, met enkele ongelijke overgangen. De eenzijdig te rijden afstand tussen tussenopslag en trailer bedroeg enkele tientallen meters. Naar de magazijnen kon tot 200 meter worden gereden. De metingen zijn uitgevoerd aan drie chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn 8-21 cycli gemeten; de meettijd per chauffeur bedroeg 17-21 minuten (normaal rijden) en 12-26 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 2.
3. Aanvullen van stellingen met een reachtruck (magazijnen 5 en 6): vanuit verschillende plaatsen in de bulkopslag werden pakketten met doe-het-zelf producten naar de magazijnen van het "order picking" gebied getransporteerd, om de voorraad daar aan te vullen. Van tijd tot tijd werden balkjes geplaatst of weggehaald, en eventueel verpakkingsmateriaal verwijderd. Hiervoor stapte de chauffeur van de reachtruck af. In een ander gedeelte van de magazijnen werd gereedstaande voorraad naar de bulkvoorraad getransporteerd. Hierbij werd tevens afgestapt om stickers te plakken op een pakket. De ondergrond van de magazijnen bestond ten dele uit glad cement, ten dele uit betonplaten, die op diverse plaatsen ongelijk lagen. Ook waren de overgangen hiertussen meestal ongelijk. De eenzijdig te rijden afstand varieerde tussen enkele tientallen meters en honderd meter. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur

- zijn meerdere cycli gemeten; de meettijd per chauffeur bedroeg 21-25 minuten (normaal rijden) en 23-27 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met voertuig 3, een reachtruck.
4. Laden van trailers in het overdekt magazijn ([straat]): direct vanuit een aanvoerband of vanuit een tussenopslag werden pakketten met doe-het-zelf producten geladen in lege trailers in een overdekte hal. Bij het laden moesten soms balkjes worden gelegd onder of tussen de pakketten, waarvoor de chauffeur van de heftruck afstapte. Ook werd soms aan het einde van een taak geholpen het zeil van de trailer te sluiten. De ondergrond van de overdekte hal rond de trailerplaatsen bestond uit een vlakke cementvloer, met op enkele gedeelten beschadigingen en ongelijke segmenten. De eenzijdig te rijden afstand tussen aanvoerband/tussenopslag en trailer bedroeg enkele tientallen meters. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn meerdere cycli gemeten. De meettijd per chauffeur bedroeg 17-19 minuten (normaal rijden) en 16-22 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 4.
 5. Lossen van trailers ([straat]): vanuit een buiten gereedstaande trailer werden pakketten met doe-het-zelf producten naar een tussenopslag binnen getransporteerd. Bij het laden en lossen moesten soms balkjes worden gelegd of verwijderd, waarvoor de chauffeur van de heftruck afstapte. De ondergrond buiten bestond uit ongelijk liggende betonplaten. De vloer binnen was een gladde cementvloer. De overgang naar de betonplaten was verhoogd en ongelijk. De eenzijdig te rijden afstand tussen tussenopslag en trailer bedroeg enkele tientallen meters. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn vele cycli gemeten. De meettijd per chauffeur bedroeg 29-30 minuten (normaal rijden) en 34-40 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 5.
 6. a. Transport van tussenopslag naar bulk (uitsluitend binnen; [straat]): vanuit de tussenopslag (zie 5) werden de pakketten met doe-het-zelf producten getransporteerd naar de bulkopslag elders in de overdekte magazijnen. Bij het laden en lossen moesten soms balkjes worden gelegd of stickers worden geplakt, waarvoor de chauffeur van de heftruck afstapte. De ondergrond van de magazijnen was een gladde cementvloer, waarvan het rijoppervlak op enkele plaatsen beschadigd was. De eenzijdig te rijden afstand tussen tussenopslag en trailer bedroeg maximaal 100 meter. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs. Van iedere chauffeur zijn meerdere cycli gemeten. De meettijd per chauffeur bedroeg 17 minuten (1 chauffeur; normaal rijden) en 16-27 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 5.
 6. b. Transport van tussenopslag naar bulk (via buiten; [straat]): vanuit de tussenopslag (zie 5) werden de pakketten met doe-het-zelf producten getransporteerd naar de bulkopslag elders in overdekte magazijnen. Bij het laden en lossen moesten soms balkjes worden gelegd of stickers worden geplakt, waarvoor de chauffeur van de heftruck afstapte. Bij deze taak werd via het buitenterrein gereden naar andere magazijnen dan onder 6a bedoeld. De ondergrond van het buitenterrein bestond uit ongelijk liggende betonplaten. In de magazijnen was een gladde cementvloer aanwezig, waarvan het rijoppervlak op enkele plaatsen beschadigd was. De overgangen tussen betonplaten en cementvloer was ongelijk. De eenzijdig te rijden afstand tussen tussenopslag en trailer bedroeg maximaal 100 meter. De metingen zijn uitgevoerd aan twee chauffeurs (zelfde als 6a). Van iedere

chauffeur zijn 1-7 cycli gemeten. De meettijd per chauffeur bedroeg 3-25 minuten (normaal rijden) en 4-15 minuten (beheerst rijden). Gewerkt werd met heftruck 5.

Alle chauffeurs rijden normaal gesproken de gehele werkdag op een heftruck of reachtruck. Wel is het zo dat niet altijd bovenstaande taken gedurende de gehele werkdag worden uitgevoerd. Dit is afhankelijk van de behoefte. Soms worden meerdere heftrucktaken op een werkdag gecombineerd. Voor de interpretatie van de gemeten data naar de dagelijkse blootstelling is er vanuit gegaan dat een chauffeur de betreffende taak gedurende de volle werkdag van 8 uren uitvoert, verminderd met een half uur pauzes, dus 7½ uur effectief. De normale blootstellingsduur is verder gecorrigeerd voor de tijd dat een chauffeur niet op de heftruck reed, en dus niet werd blootgesteld. Bij het bepalen van deze tijd is ervan uit gegaan dat de verhouding tussen de tijd dat werd blootgesteld en niet werd blootgesteld tijdens de meting dezelfde was als tijdens een normale werkdag.

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 NEN-ISO-2631-1 (1997; lichaamstrillingen - algemeen), NEN-ISO-2631-5 (2004; lichaamstrillingen - schokken) en ISO-8041 (2005; trillingen - meetapparatuur) 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)¹: zie figuur 1.



Figuur 1: Visuele illustratie van de trillingsrichtingen X, Y en Z.

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 bouwtape op de zitting gefixeerd (zie figuur 2), 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

¹ 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 2: Illustratie bij de meting van lichaamstrillingen op de stoel van de bestruck: de opnemer voor trillingen is op de stoelzitting vastgezet met bouwtape.



Figuur 3: illustratie bij de meting van trillingen van het chassis onder de stoel van de bestruck: de opnemer voor chassistrillingen aan de stoelbasis is vastgezet op de plaats van een stoelbout.

met behulp van een B&K opnamer 4321. De opnamer was 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 3).

De signalen van de opnamers werden via afgeschermdes kabels geleid naar twee versterkers (B&K, Nexus 2692) en per kanaal met een frequentie van 4096 s^{-1} opgeslagen op een laptop computer (Dell Latitude). Filtering en verwerking van de signalen gebeurde volgens de ISO-richtlijnen met behulp van LabView en Matlab software (voor een meer uitgebreide beschrijving van de apparatuur en instellingen wordt verwezen naar één van de eerdere rapporten op de website www.ergolabresearch.eu, bijvoorbeeld “Analyse van trillingen en dempingmogelijkheden bij transportwerkzaamheden met behulp van verschillende heftrucks”). De gehele meetketen (van opnamers tot PC) is van tevoren geïjkt met behulp van een geïjkte calibrator (B&K 4291). Meetversterkers zowel als PC werden tijdens de metingen gevoed met 12 V accu's.

Voor de bepaling van de rijnsnelheid is tijdens één van de metingen (taak 6b) een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op de heftruck bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en na afloop overgebracht naar de PC.

Tijdens de overige taken is de rijnsnelheid daar waar mogelijk achteraf geschat aan de hand van videoregistraties van de taak. Met dit doel is een kleine camera (JVC Action Cam GC-XA1 BE) in de heftruckcabine bevestigd en is de taakuitvoering tijdens alle metingen op beeld vastgelegd (30 frames/s). Tevens werd de start van de trillingsmetingen aangegeven, zodat de metingen achteraf konden worden gesynchroniseerd met de videobeelden. Videoanalyse is gedaan met behulp van het programma LongoMatch (freeware; zie <http://www.longomatch.org/>). De tijdstipmomenten van passeren van twee markeerpunten, waartussen de afstand bekend was, werden aangegeven in het programma. Vervolgens werd daaruit de lineaire snelheid berekend. Deze schatting kon alleen betrouwbaar worden uitgevoerd op stukken waarbij rechtuit en op constante snelheid werd gereden.

De videoregistratie maakte het tevens mogelijk aan te geven op welke momenten de chauffeur geen contact had met de stoelzitting en op welke momenten er niet gereden werd. Deze tijdsegmenten zijn buiten de analyse van de meetdata gehouden. Bij twee taken, taken 2 en 6b, zijn met behulp van de video tevens de start- en eindmomenten van de deeltaken vastgelegd. De volgende deeltaken werden onderscheiden: laden, lossen, rijden beladen over betonplaten, rijden beladen over glad cement, rijden beladen over drempel, rijden onbeladen over betonplaten, rijden onbeladen over glad cement, rijden onbeladen over drempel.

2.5 Data verwerking

Als eerste stap is van alle variabelen de oorspronkelijke set van 4096 data/s samengevat in 1 meetpunt per seconde. Dit is gedaan voor alle taken. Op grond van de videoanalyses zijn de tijdsperiodes van stilstand en van geen contact met de stoelzitting uit de dataseries verwijderd. Dit gebeurde dus met een onnauwkeurigheid van 1 s. Vanuit de zo ontstane gecorrigeerde

dataseries zijn de trillingsblootstelling a_w , de Crest-factor (als maat voor schokbelasting), $SEAT_{rms}$ (als maat voor de effectiviteit van de stoeldemping) en de tijdsduur berekend (zie tabel 3 voor een nadere uitleg van de variabelen). Voor de evaluatie van een taak zijn de uitkomsten over de chauffeurs gemiddeld.

Voor twee taken, t.w. taak 2 en taak 6b, is een meer exacte analyse van de blootstelling verricht. Daarbij is de blootstelling bepaald voor ieder van de onderscheiden deeltaken (=taakonderdelen). Voor een exacte beschrijving van de stappen in dit proces van dataverwerking wordt verwezen naar eerdere rapporten, bijvoorbeeld “Analyse van trillingen en dempingmogelijkheden bij transportwerkzaamheden met behulp van verschillende heftrucks” op de website www.ergolabresearch.eu. Naast de eerder genoemde uitkomsten van de berekeningen werden tevens VDV (de Vibration Dose Value, een alternatieve maat voor de trillingsblootstelling), D en S_{ed} berekend (beide laatste om de blootstelling aan schokken te kunnen beoordelen; zie tabel 3 voor een uitleg hiervan).

Tabel 3: Uitleg van de belangrijkste uitkomstvariabelen

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. De <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 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 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.
Tijdsduur	Lengte van de meetperiode (in s), na correctie voor de momenten van stilstand en van geen contact met de stoelzitting.

Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling schrijft de wet voor dat de richting met de hoogste blootstelling de maximale werkduur bepaalt. De dagelijkse blootstelling is berekend voor de situatie “normaal rijden”. Hiertoe is allereerst de “gemiddelde” blootstelling berekend over de gemeten taak (de aanhalingstekens geven aan dat het niet een simpel rekenkundig gemiddelde betreft), volgens

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

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

Een werkdag van een chauffeur bestond niet volledig uit uitsluitend werk zittend op de heftruck. Regelmatig werd tijdens het laden en lossen afgestapt om bijkomende handelingen uit te voeren, als steunbalkjes weg te halen of te leggen, etiketten te plakken, verpakkingsmateriaal te verwijderen, etc. Deze tijd voor bijkomende handelingen werd tijdens de metingen geregistreerd met behulp van de videobeelden en achteraf bepaald. Tot de tijd voor bijkomende handelingen werd tevens de stortingstijd gerekend, dit is de tijd die een chauffeur zat te wachten op een stilstaande heftruck omdat door een storting of andere oorzaak niet verder gewerkt kon worden. Daarnaast werd vooraf aan de chauffeurs gevraagd hoelang hun normale dagelijkse werkduur was en hoeveel tijd ervan zij normaal besteden aan logistieke werkzaamheden met de heftruck. De laatstgenoemde tijd, gemiddeld over de chauffeurs van de betreffende taak, werd gecorrigeerd voor de tijdsduur van de bijkomende handelingen. Zo werd de dagelijkse blootstellingstijd T_d verkregen. Omdat alle chauffeurs een normale werkdag van 8 uur kenden werd de dagelijkse blootstelling berekend volgens

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

met $a_{wk(eq,8h)}$ de dagelijkse blootstelling bij een 8-urige werkdag, a_{wk} de “gemiddelde” blootstelling over de gemeten taakonderdelen, T_d de duur van alle heftrucktaken op een werkdag, en k de trillingsrichting X, Y of Z .

2.6 Presentatie van de data en statistiek

De resultaten zijn weergegeven in tabelvorm en als tijdseries, histogrammen en 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 boxplots is door middel van een onderbroken lijn tevens het niveau van actiewaarde voor een achturige werkdag getoond.

Gezien de beperkte omvang van de metingen per taak zijn geen statistische berekeningen op eventuele verschillen uitgevoerd.

3 Resultaten en bespreking

In het navolgende worden de gemeten blootstellingen per taak beproven.

3.1 Taak 1: aanvoer in het geautomatiseerd magazijn

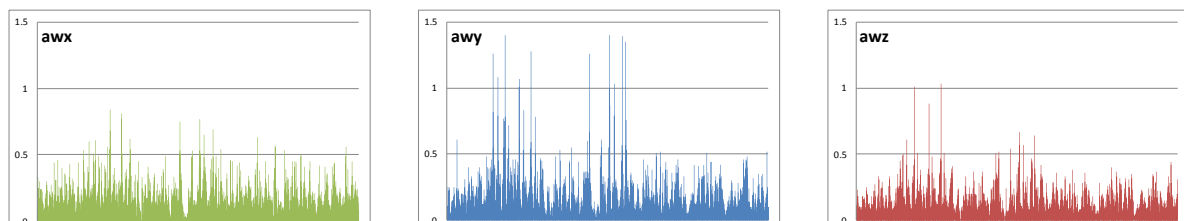
Tabel 4: Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens de aanvoer in het geautomatiseerd magazijn. Weergegeven zijn gemiddelden van de twee chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor beide personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.24	12.67	72%	2646	X	0.20	8.26	74%	2651
Y	0.26	15.50	72%		Y	0.22	16.78	83%	
Z	0.20	14.97	60%		Z	0.17	13.30	68%	

Tabel 4 toont de resultaten, gemiddeld over de beide chauffeurs, van de trillingsmetingen tijdens het aanvoeren van pakketten in het geautomatiseerd magazijn. Tabel 4 laat zien dat de RMS blootstelling ruim onder de actiewaarde blijft voor alle trillingsrichtingen. Het verschil tussen beide chauffeurs is klein. Beheerst rijden verlaagt de trillingsblootstelling voor alle trillingsassen bij beide chauffeurs: de gemiddelde verlaging was 14-18%. Beheerst rijden heeft niet zozeer tot gevolg dat alle onderdelen van taak langzamer worden uitgevoerd: hoewel de rijsnelheid niet exact kon worden vastgelegd, bedroeg de steekproefsgewijs bepaalde maximale rijsnelheid 6.8-11.3 km/h (voor normale taakuitvoering) en 6.9-10.8 km/h (voor beheerst rijden), gemeten over rechte trajecten van 19-26 m.

De gemonteerde stoel blijkt effectief in het verminderen van de trillingen: gemiddeld over alle waarnemingen worden de trillingen van het chassis met 28% verminderd (dit is SEAT waarde 72%). Hierbij wordt wel de aantekening gemaakt dat het effect bij de zware chauffeur (103 kg) groter bleek (40%) ten opzichte van de lichtere (85 kg): 16%.

Opvallend bleek de relatief hoge Crest-waarde. Dit betekent dat incidenteel piekbelastingen voorkomen. Tijdens de metingen werden deze veroorzaakt door een drempel op de scheiding tussen magazijn en buitenterrein en door een watergoot, welke beide frequent werden gepasseerd. Een voorbeeld van het verloop in de tijd van één van de metingen is weergegeven in figuur 4. Hierin is duidelijk waar te nemen dat de pieken voor de verschillende trillingsrichtingen veelal plaats vinden op hetzelfde moment (namelijk: het passeren van de hindernis), maar dat de pieken niet in



Figuur 4: Tijdserie van een meting van lichaamstrillingen tijdens beheerste uitvoering van taak 1. Verticaal is steeds de a_w (in m/s^2) weergegeven voor de drie trillingsrichtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts). De duur van de totale meting bedroeg bijna 28 minuten. De data in de figuur zijn exclusief de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting.

alle richtingen even prominent aanwezig zijn. Het schuin aanrijden van de drempel heeft vooral een zijwaarts effect (Y-richting). In de andere richtingen leidt dit tot minder forse trillingen. De chauffeurs gaven aan deze taak de gehele werkdag uit te voeren, dat wil zeggen 7-8 uur. Op rustige dagen kunnen de chauffeurs ook (ten dele) elders in het bedrijf worden ingezet. Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling is met een effectieve dagelijkse werkduur van 7.5 uren gerekend. Bovendien stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van zijn taak regelmatig van de heftruck af om steunbalkjes weg te halen of juist te leggen. Tijdens de metingen bedroeg dit 10% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is daarom met een werkelijke blootstellingstijd van 6 uur en 45 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 5) blijft ruim onder de actiewaarde voor alle trillingsrichtingen en behoeft strikt genomen geen verdere actie. Wel zou het goed zijn, gezien de piekbelastingen die optreden bij het passeren van de goten en drempels, óók tijdens beheerst rijden, aan drempels en goten aandacht te besteden. Bijvoorbeeld door het creëren van soepele of minder starre overgangen bij drempels, en speciale passeerstroken bij de watergoten.

Tabel 5: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 1: de aanvoer in het geautomatiseerd magazijn. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 1: aanvoer stapels in het geautomatiseerd magazijn	6.75	X	0.24	0.22	>24
		Y	0.26	0.24	>24
		Z	0.20	0.19	>24

3.2 Taak 2: werkzaamheden centrale laadplaats: laden en lossen van trailers

Tabel 6: *Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het laden en lossen van trailers op de centrale laadplaats. Weergegeven zijn gemiddelden van de drie chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor de personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.*

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.34	12.73	77%	3353	X	0.28	7.73	75%	3297
Y	0.37	8.26	100%		Y	0.30	7.84	96%	
Z	0.69	7.11	76%		Z	0.55	7.82	84%	

De blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens taak 2, het laden en lossen op de centrale laadplaats, is samengevat in tabel 6, als gemiddelde over de drie chauffeurs. Voor beide horizontale trillingsrichtingen blijft de blootstelling onder de actiewaarde. In de verticale richting wordt de actiewaarde overschreden. Tijdens normaal rijden gold dit voor alle chauffeurs. In het

geval van beheerst rijden werd bij één van de chauffeurs een blootstelling onder de actiewaarde gemeten (0.39 m/s^2), terwijl beide andere daarboven bleven ($0.61\text{-}0.66 \text{ m/s}^2$). Het gemiddeld effect van beheerst rijden over alle chauffeurs was een verlaging van de blootstelling met 18%. De steekproefsgewijs bepaalde maximale rijsnelheid op rechte stukken (8- 42 m) was 12.4 km/uur (normaal rijden; spreiding: 10.0 – 14.0 km/uur) en 9.6 km/uur (beheerst rijden; spreiding: 7.5 – 14.4 km/uur). Bij alle chauffeurs was de rijsnelheid lager tijdens beheerst rijden. Eén chauffeur ging daarbij opvallend langzamer rijden; mogelijk was dit het gevolg van een interpretatieprobleem van de instructie. Dit was overigens niet de chauffeur met de laagste blootstelling.

De gemonteerde stoel bleek het meest effectief te dempen in de voor-achterwaarts richting (20-28% verlaging; SEAT gemiddeld over alle chauffeurs: 76%). Zijwaartse trillingen werden echter maar bij één persoon verminderd (SEAT: 83%), terwijl bij beide andere enigszins een versterking van de trillingen is gemeten: SEAT 104-107%. Meest van belang was de demping in de verticale richting. Dit bleek 12-26% (gemiddelde SEAT: 80%). Hoewel ook bij deze taak bij de zwaarste chauffeur de stoeldemping het meest effectief bleek, was dit geen trend voor de groep als geheel.

De belasting door schokken, zoals uitgedrukt in de Crest-factor, blijft bij deze taak vrijwel steeds acceptabel. De hoge Crest waarde in de voor-achterwaartsrichting wordt veroorzaakt door één van de chauffeurs die tijdens het lossen tweemaal met de lading botste tegen een al eerder geplaatst pakket, welke niet tijdig werd gezien.

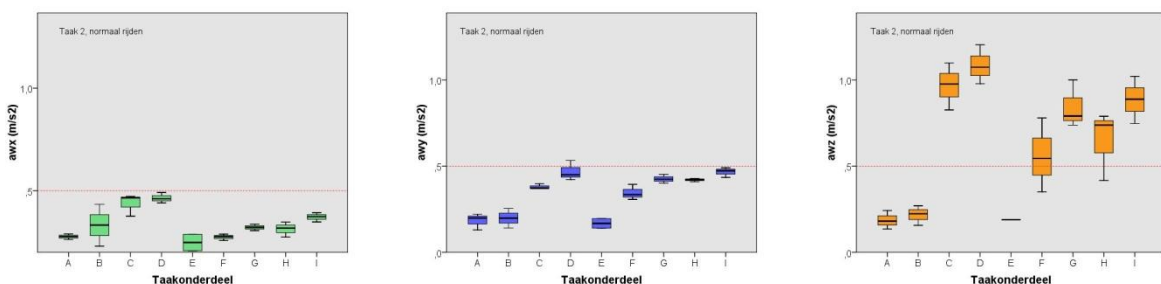
Ook deze chauffeurs gaven aan de taak de gehele werkdag uit te voeren, dat wil zeggen 7-8 uur. Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling is met een effectieve dagelijkse werkduur van 7.5 uren gerekend. Daarnaast stapten de chauffeurs tijdens het uitvoeren van de taak regelmatig van de heftruck af om steunbalkjes weg te halen of juist te leggen. Tijdens de uitgevoerde metingen bedroeg dit gemiddeld 9% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is daarom met een werkelijke blootstellingstijd van 6 uur en 50 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 7) geeft aan dat de verticale trillingen een probleem vormen, waarbij na 5 uur werken de actiewaarde bereikt wordt. De trillingen in het horizontale vlak veroorzaken geen beperkingen van de werktijd.

Tabel 7: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 2: het laden en lossen op de centrale laadplaats. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 2: laden en lossen van trailers op de centrale laadplaats	6.83	X	0.34	0.31	20.6
		Y	0.37	0.34	16.9
		Z	0.69	0.63	5.0

Om acties ter vermindering van de verticale trillingsblootstelling beter en effectiever te kunnen sturen, zijn de metingen van deze taak 2 in detail geanalyseerd op de relatieve bijdragen van elk van de taakonderdelen aan het totaal. De volgende taakonderdelen zijn onderscheiden: laden (A),

lossen (B), onbeladen passeren van een drempel (C), beladen passeren van een drempel (D), wachten/korte stop (E), beladen rijden over gladde ondergrond (F), beladen rijden over betonplaat (G), leeg rijden over gladde ondergrond (H), en leeg rijden over betonplaat (I). Figuur 5 laat de trillingsblootstelling in de drie richtingen zien per taakonderdeel. In geval van de horizontale trillingen blijven de trillingen voor alle onderdelen (vrijwel) altijd onder de actiewaarde. Echter, voor de verticale trillingen is dat uitsluitend het geval voor het laden en lossen (en natuurlijk indien gewacht moet worden). De drempels leveren de hoogste blootstelling. Ook is het verschil tussen het rijden over een gladde vloer en het rijden over de betonplaten in de laadruimte zelf aanzienlijk. Verder laat de figuur zien dat de trillingen lager zijn als met een lading gereden wordt. Dit laatste kan worden verklaard door de grotere massa, maar ook kan het zijn dat met een lading voorzichtiger gereden wordt.



Figuur 5: Blootstelling aan lichaamstrillingen in voor-achterwaarts richting (links), zijwaarts (midden) en verticaal (rechts) voor de onderdelen van taak 2, laden en lossen van trailers in de centrale laadruimte, tijdens normaal rijden. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen. De volgende taakonderdelen zijn onderscheiden: A: laden; B: lossen; C: onbeladen passeren van een drempel; D: beladen passeren van een drempel; E: wachten/korte stop; F: beladen rijden over gladde ondergrond; G: beladen rijden over betonplaat; H: leeg rijden over gladde ondergrond; I: leeg rijden over betonplaat. De gestreepte horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan.

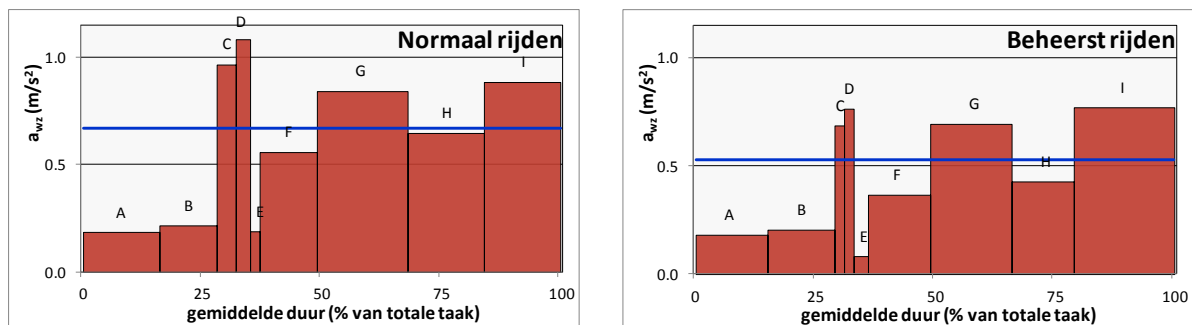
De gemiddelde blootstelling per richting en per taakonderdeel is samengevat in tabel 8, met als toevoeging de totale tijdsduur, absoluut tijdens de metingen en relatief ten opzichte van de totale taakduur.

Tabel 8: Gemiddelde blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor de onderscheiden onderdelen van taak 2: het laden en lossen op de centrale laadplaats, tijdens normaal rijden. Per taakonderdeel is de totale tijd aangegeven waarover de blootstelling is berekend, absoluut (in s) en relatief ten opzichte van de totale duur (in %).

Taakonderdeel	a_{wx} (m/s^2)	a_{wy} (m/s^2)	a_{wz} (m/s^2)	Totale tijd	
				(s)	(%)
A. laden	0.28	0.18	0.19	545	16%
B. lossen	0.33	0.20	0.22	415	12%
C. onbeladen passeren van drempel	0.44	0.38	0.97	110	3%
D. beladen passeren van drempel	0.46	0.47	1.09	110	3%
E. wachten/korte stop	0.25	0.17	0.19	58	2%
F. beladen rijden over gladde ondergrond	0.27	0.35	0.56	405	12%
G. beladen rijden over betonplaatvloer	0.32	0.43	0.84	639	19%
H. leeg rijden over gladde ondergrond	0.31	0.42	0.65	534	16%
I. leeg rijden over betonplaatvloer	0.37	0.47	0.89	521	16%

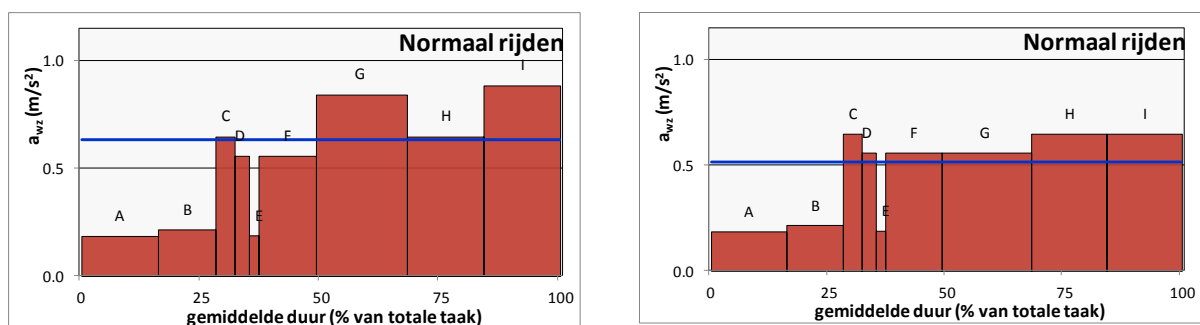
De verticale blootstellingen per taakonderdeel, met inbegrip van de duur van die onderdelen, zijn voor normaal en beheerst rijden tevens grafisch weergegeven in figuur 6.

De figuur laat zien dat bij zowel normaal als beheerst rijden de drempels en het rijden over de betonplaten het sterkst bijdragen aan de blootstelling. De blootstellingen voor de taak als geheel bedragen voor normaal en beheerst rijden respectievelijk 0.67 en 0.53 m/s².



Figuur 6: Blootstelling aan lichaamstrillingen in verticale richting (a_{wz} in m/s^2) voor normaal (links) en beheerst rijden (rechts) voor de onderscheiden onderdelen van taak 2, laden en lossen van trailers in de centrale laadruimte (A-I). De weergegeven data zijn een gemiddelde van drie personen. De volgende taakonderdelen zijn onderscheiden: A: laden; B: lossen; C: onbeladen passeren van een drempel; D: beladen passeren van een drempel; E: wachten/korte stop; F: beladen rijden over gladde ondergrond; G: beladen rijden over betonplaat; H: leeg rijden over gladde ondergrond; I: leeg rijden over betonplaat. De doorgetrokken horizontale lijn geeft de blootstelling voor de taak als geheel aan.

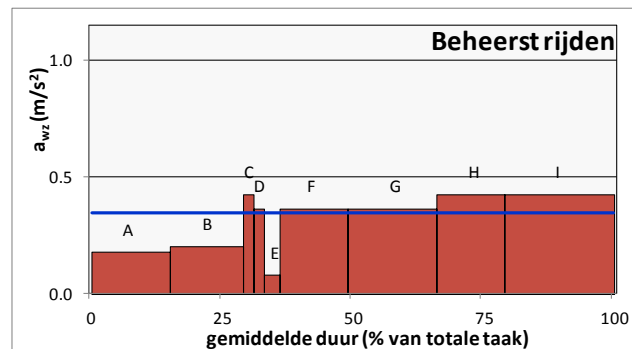
In de situatie van normaal rijden is vervolgens gesimuleerd wat de blootstelling zou zijn indien de drempels en de betonplaatvloeren zouden zijn vervangen door een gladde ondergrond, dat wil zeggen dezelfde blootstelling als tijdens rijden over een gladde ondergrond. Die simulatie is weergegeven in figuur 7, waarbij het linker paneel uitsluitend het vlakken van de drempels laat zien. In die situatie blijft de blootstelling a_{wz} voor de taak als geheel, dit is de horizontale lijn, met 0.63 m/s² nog altijd ruim boven de actiewaarde. In het rechter paneel zijn zowel drempels als betonplaatvloeren vervangen door een gladde ondergrond. De blootstelling voor de gehele taak komt dan op 0.52 m/s², juist boven de actiewaarde. Het effect van verbetering van de rijvloer is daarmee vergelijkbaar met dat van beheerst rijden over de bestaande rijvloer.



Figuur 7: Simulatie van de blootstelling aan lichaamstrillingen in verticale richting (a_{wz} in m/s^2) voor normaal rijden waarbij de drempels (C en D) zijn vervangen door gladde ondergrond (links) en zowel drempels (C, D) als betonplaten (G, I) zijn vervangen door gladde ondergrond (rechts) voor de onderscheiden onderdelen van taak 2, laden en lossen van trailers in de centrale laadruimte. De weergegeven data zijn een gemiddelde van drie personen. De doorgetrokken horizontale lijn geeft de blootstelling voor de gesimuleerde taak als geheel aan.

De combinatie van beheerst rijden met vlakken van vloer en drempels is de meest effectieve en vergaande oplossing: zie figuur 8. Trillingsblootstelling in verticale richting voor de taak als geheel wordt daarmee gereduceerd tot 0.34 m/s^2 .

Figuur 8: Simulatie van de blootstelling aan lichaamstrillingen in verticale richting (a_{wz} in m/s^2) voor beheerst rijden waarbij de drempels (C, D) en de betonplaatvloer (G, I) zijn vervangen door gladde ondergrond voor de onderscheiden onderdelen van taak 2, laden en lossen van trailers in de centrale laadruimte. De weergegeven data zijn een gemiddelde van drie personen. De doorgetrokken horizontale lijn geeft de blootstelling voor de gesimuleerde taak als geheel aan.



In combinatie met het gegeven (zie tabel 7) dat de dagelijkse expositieduur minder is dan de werkdag, betekent een blootstelling van 0.52 m/s^2 voor de taak zelf na aanpassingen van de rijvloer dat de dagelijkse blootstelling uitkomt op 0.48 m/s^2 , juist onder de actiewaarde.

Bij de evaluatie van de trillingsblootstelling is tevens gekeken naar de door de EU vastgestelde limieten. Als alternatief voor de bovengenoemde evaluatie a_w is in de Europese wetgeving ook voorgesteld een dagelijkse trillingsdosis te berekenen. Deze wordt uitgedrukt als zogenaamde VDV. In de tabel van bijlage A is voor deze taak 2 tevens de VDV waarde berekend, gesteld dat de taak 8 uur per dag zou worden uitgevoerd (dus een expositietijd van 6.83 uur). 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 tijdens zowel normaal als beheerst rijden overschrijding optreedt in de verticale richting. Omdat de VDV maat meer dan de a_w gevoelig is voor trillingspieken en schokken is tevens 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 de taak is hiertoe de statische compressie S_{ed} van de rug berekend. De uitkomsten zijn tevens weergegeven in de tabel van bijlage A. Actie dient te worden ondernomen als de S_{ed} 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 grens niet wordt overschreden tijdens normaal rijden. De conclusie is dat de hoge a_w en VDV waarden in verticale richting niet worden veroorzaakt door het worden blootgesteld aan zware schokken tijdens de gemeten werkzaamheden.

De conclusie uit voorgaande is dat voor taak 2, het laden en lossen van trailers in de centrale laadruimte, het uitsluitend aanpakken van oneffenheden in de ondergrond juist onvoldoende effectief is: de verticale trillingsblootstelling blijft net boven de actiewaarde. Datzelfde geldt voor het uitsluitend afdwingen van meer beheerst rijgedrag. Dat deze laatste maatregel onvoldoende effect sorteert wordt verder bevestigd door de VDV waarde: deze blijft tijdens beheerst rijden duidelijk boven de actiewaarde van $9.1 \text{ m/s}^{1.75}$. De combinatie van vlakke ondergrond met een meer beheerst rijgedrag zal echter overtuigend effectief zijn. Ook kan worden gedacht aan een

vlakke rijvloer en een meer effectieve stoeldemping: de huidige gemeten SEAT waarde tussen 76% en 84% in verticale richting voor een luchtgeveerde stoel biedt perspectief voor verbetering van de dempende prestatie. Het uitsluitend aanpakken van de overgangen tussen betonplaatvloer en gladde cementvloer zal onvoldoende effect sorteren.

3.3 Taak 3: aanvullen stellingen met reachtruck, magazijn 5 en 6

Tabel 9: Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het aanvullen van stellingen met de reachtruck in magazijn 5+6. Weergegeven zijn gemiddelden van de twee chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor beide personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen. Let wel dat de X-richting voor deze reachtruck een zijwaartse versnelling van de zitting ten opzichte van de rijrichting betreft.

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.28	7.80	82%	2712	X	0.27	8.07	80%	2912
Y	0.24	10.14	79%		Y	0.23	10.88	76%	
Z	0.24	12.58	58%		Z	0.24	10.47	62%	

Tabel 9 toont de resultaten, gemiddeld over de beide chauffeurs, van de trillingsmetingen tijdens het aanvullen stellingen met reachtruck in de magazijnen 5 en 6. De tabel laat zien dat de RMS blootstelling ruim onder de actiewaarde blijft voor alle trillingsrichtingen. Ook hier bleek het verschil tussen beide chauffeurs klein. Beheerst rijden verlaagde de trillingsblootstelling voor alle trillingsassen maar bij één van de chauffeurs: de gemiddelde verlaging was 6-10%. Bij de andere chauffeur was in de Z-richting sprake van een verhoging met 11%, waarschijnlijk veroorzaakt door de keuze van een ten dele aangepast rijtraject. De steekproefsgewijs bepaalde maximale rijnsnelheid op rechte stukken (8- 36 m) was 8.5 km/uur (normaal rijden; spreiding: 6.2 – 9.8 km/uur) en 7.8 km/uur (beheerst rijden; spreiding: 4.2 – 10.3 km/uur).

De gemonteerde stoel blijkt effectief in het verminderen van de trillingen, overigens met name in verticale richting. Gemiddeld over alle waarnemingen worden de trillingen van het chassis met 27% verminderd (dit is SEAT waarde 73%). Het verschil tussen de beide chauffeurs was minimaal, ondanks een aanzienlijk verschil in lichaamsgewicht (65 vs 95 kg).

Verder worden relatief hoge Crest-waarden waargenomen. Dit betekent dat incidenteel piekbelastingen voorkomen. Deze zijn te herleiden op de ongelijke overgangen tussen de magazijnen, waartussen wordt gereden.

Eén van de chauffeurs gaf aan deze taak de gehele werkdag uit te voeren, waarbij in piekperioden de werkduur verlengd kan zijn tot 9 uur op een werkdag. De andere chauffeur voerde de werkzaamheden normaal gesproken in deeltijd uit. Op rustige dagen kunnen de chauffeurs ook (ten dele) elders in het bedrijf worden ingezet. De berekening van de dagelijkse blootstelling is, rekening houdend met het werk in piekperioden, met een effectieve dagelijkse werkduur van 8.5 uren doorgerekend. Verder stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van zijn taak regelmatig van de reachtruck af om bijvoorbeeld etiketten te plakken of verpakkingsmateriaal te verwijderen. Tijdens de metingen bedroeg dit 10% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse

trillingsblootstelling is daarom met een werkelijke blootstellingstijd van 7 uur en 39 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 10) blijft ruim onder de actiewaarde voor alle trillingsrichtingen en behoeft strikt genomen geen verdere actie. Wel zou het goed zijn, gezien de piekbelastingen die optreden bij het passeren van de overgangen tussen de magazijnen, óók tijdens beheerst rijden, aan het vlakken van deze overgangen aandacht te besteden.

Tabel 10: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 3: aanvullen van stellingen met een reachtruck in magazijn 5+6. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie-duur (uur)	Trillings-richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 3: aanvullen van stellingen met een reachtruck in de magazijnen 5 en 6	7.65	X	0.28	0.28	>24
		Y	0.24	0.23	>24
		Z	0.24	0.23	>24

3.4 Taak 4: laden van trailers in magazijn 9c ([straat])

Tabel 11: *Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het laden van trailers in magazijn 9c. Weergegeven zijn gemiddelden van de twee chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor beide personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.*

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.30	6.92	64%	2130	X	0.28	9.18	62%	2289
Y	0.29	9.45	90%		Y	0.24	9.07	91%	
Z	0.18	6.77	59%		Z	0.17	9.95	63%	

Tabel 11 toont de resultaten, gemiddeld over de beide chauffeurs, van de trillingsmetingen tijdens het laden van trailers in magazijn 9c. De tabel laat zien dat de RMS blootstelling ruim onder de actiewaarde blijft voor alle trillingsrichtingen. Het verschil tussen beide chauffeurs was wederom beperkt. Beheerst rijden verlaagde de trillingsblootstelling voor alle trillingsassen: de gemiddelde verlaging was 5-18%. De rijnsnelheid kon niet nauwkeurig worden bepaald vanwege te korte rijafstanden over een recht traject.

De gemonteerde stoel blijkt effectief in het verminderen van de trillingen, in iets mindere mate in zijwaartse richting. Gemiddeld over alle waarnemingen worden de trillingen van het chassis met 29% verminderd (dit is SEAT waarde 71%).

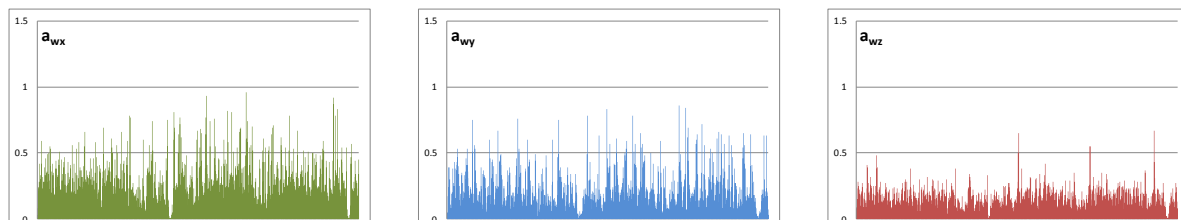
Ondanks de meest gladde vloer komen toch nog relatief hoge Crest-waarden voor. Deze zijn te herleiden op enkele ongelijke overgangen in het rijoppervlak van de laadplaats. Omdat deze overgangen zeer regelmatig gepasseerd worden betekent dit dat geregeld piekbelastingen voorkomen.

De chauffeurs gaven aan deze taak de gehele werkdag uit te voeren, waarbij één van de chauffeurs niet elke dag op een heftruck rijdt. De berekening van de dagelijkse blootstelling is daarom met een effectieve dagelijkse werkduur van 7.5 uren doorgerekend. Verder stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van zijn taak regelmatig van de heftruck af om bijvoorbeeld balkjes te leggen of een trailer opzij dicht te maken. Tijdens de metingen bedroeg dit 9% van de tijd. Tijdens de metingen moest ook regelmatig gewacht worden omdat de voorraad om te laden beperkt was. Dit laatste bedroeg 10% van de tijd; hiermee is echter geen rekening gehouden in de verdere berekeningen. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is aldus met een werkelijke blootstellingstijd van 6 uur en 50 minuten gerekend. De daarmee berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 12) blijft ruim onder de actiewaarde voor alle trillingsrichtingen en behoeft strikt genomen geen verdere actie. Wel zou het goed zijn, gezien de piekbelastingen die optreden bij het passeren van ongelijk liggende delen van het rijoppervlak, óók tijdens beheerst rijden, aan het goed uitvlakken van de laadruimte aandacht te besteden.

Tabel 12: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 4: laden van trailers in magazijn 9c. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 4: laden van trailers magazijn 9c ([straat])	6.83	X	0.30	0.28	>24
		Y	0.29	0.27	>24
		Z	0.18	0.16	>24

Figuur 9 toont een voorbeeld van het tijdsverloop tijdens het laden (beheerste vorm). De korte afstanden leiden ertoe dat de chauffeur veelvuldig optrekt en afremt, en veel minder langere stukken rijdt met verhoogde snelheid. Dit is goed waarneembaar in de figuren: de trillingsbelasting in voor-achterwaarts- en zijrichting zijn duidelijk verhoogd ten opzichte van verticaal.



Figuur 9: *Tijdsree van een meting van lichaamstrillingen tijdens beheerste uitvoering van taak 4. Verticaal is steeds de a_w (in m/s^2) weergegeven voor de drie trillingsrichtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts). De duur van de totale meting bedroeg ruim 17 minuten. De data in de figuur zijn exclusief de perioden van langere tijd wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting.*

3.5 Taak 5: lossen van trailers ([straat])

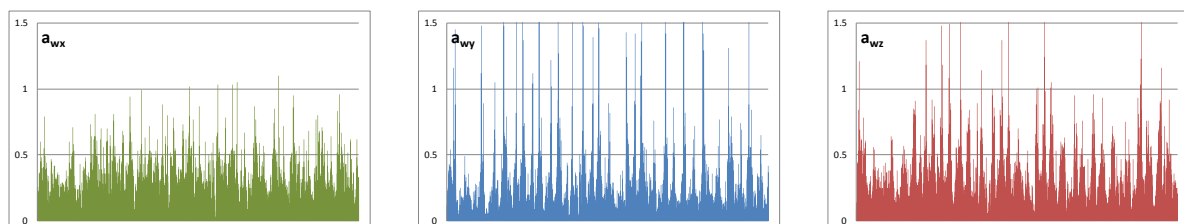
Tabel 13: Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het lossen van trailers aan de [straat]. Weergegeven zijn gemiddelden van de twee chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %) en de totale duur van de metingen (in s) voor beide personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.31	10.53	83%	3529	X	0.26	8.18	83%	4255
Y	0.34	13.73	104%		Y	0.30	11.24	104%	
Z	0.35	17.74	53%		Z	0.33	11.19	60%	

Tabel 13 toont de resultaten, gemiddeld over de beide chauffeurs, van de trillingsmetingen tijdens het lossen van trailers aan de [straat]. Hierin is te zien dat de RMS blootstelling ruim onder de actiewaarde blijft voor alle trillingsrichtingen. De uitkomsten voor beide chauffeurs waren vergelijkbaar, vooral tijdens beheerst rijden. Beheerst rijden verlaagde de trillingsblootstelling vooral in de voor-achterwaartsrichting (15%) en zijwaarts (11%), en in mindere mate verticaal (4%). Ook voor deze taak kon de rijnsnelheid niet nauwkeurig worden bepaald vanwege te korte rechte rijafstanden.

De gemonteerde stoel blijkt in de X- en Z-richting effectief in het verminderen van de trillingen. Evenwel wordt de trilling zijwaarts iets versterkt.

Hoge Crest-waarden werden gemeten, vooral zijwaarts en verticaal. Deze konden worden herleid op de drempel / ongelijke overgang tussen magazijn binnen en betonplaatvloer buiten. Deze overgang wordt zeer regelmatig gepasseerd. Dit betekent dat de chauffeurs worden blootgesteld aan piekbelastingen. Zie als illustratie figuur 10. Beheerst rijden had vooral ook tot gevolg dat de drempel voorzichtiger werd genomen, hetgeen duidelijk waarneembaar is in het afnemen van de Crest-factor. Desondanks blijft de waarde (te) hoog.



Figuur 10: Tijdsreeks van een meting van lichaamstrillingen tijdens normale uitvoering van taak 5. Verticaal is steeds de a_w (in m/s^2) weergegeven voor de drie trillingsrichtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts). De duur van de totale meting bedroeg bijna 30 minuten. De data in de figuur zijn exclusief de perioden van langere tijd wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting.

De chauffeurs gaven aan deze taak de gehele werkdag uit te voeren. De berekening van de dagelijkse blootstelling is daarom met een effectieve dagelijkse werkduur van 7.5 uren doorgerekend. Verder stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van zijn taak af en toe van de heftruck af om bijvoorbeeld een trailer opzij open te maken. Tijdens de metingen bedroeg dit 3% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is met een werkelijke blootstellingstijd van 7 uur en 14 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 14) blijft ruim onder de actiewaarde voor alle trillingsrichtingen en behoeft strikt genomen geen verdere actie. Wel zou het goed zijn, gezien de forse piekbelastingen

die optreden bij het passeren van de drempel, óók tijdens beheerst rijden, aan het vlak maken van deze overgang aandacht te besteden.

Tabel 14: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 5: lossen van trailers aan de [straat]. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 5: lossen van trailers ([straat])	7.28	X	0.31	0.30	22.9
		Y	0.34	0.32	19.6
		Z	0.35	0.34	17.6

3.6 Taak 6a: transport van tussenopslag naar bulk (binnen; [straat])

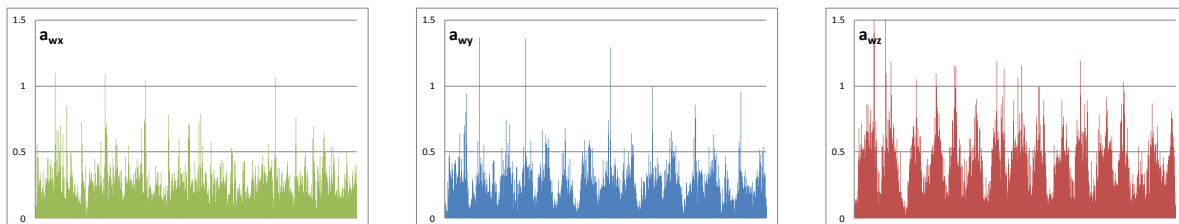
Tabel 15: *Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het transport van tussenopslag naar bulk, binnen aan de [straat]. Weergegeven zijn gemiddelden van de twee chauffeurs (n.b.: de data van normaal rijden zijn afkomstig van één chauffeur) van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor beide personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.*

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.31	7.35	86%	1039	X	0.30	8.29	91%	2573
Y	0.23	13.93	95%		Y	0.28	11.46	101%	
Z	0.34	9.70	60%		Z	0.43	13.20	59%	

Tabel 15 toont de resultaten, gemiddeld over de beide chauffeurs, van de trillingsmetingen tijdens het transport van tussenopslag naar de bulk, via de magazijnen binnen aan de [straat]. De tabel toont dat de RMS blootstelling ruim onder de actiewaarde blijft voor alle trillingsrichtingen. Een vergelijking van de uitkomsten voor beide chauffeurs kon alleen worden gemaakt voor beheerst rijden. Vooral in de Z-richting bleek één chauffeur hoger te zijn blootgesteld. Beheerst rijden leek bij de gemeten chauffeur niet te tenderen naar een verlaging van de blootstelling. De rijnsnelheid tijdens de taakuitvoering kon niet nauwkeurig worden bepaald.

De gemonteerde stoel blijkt vooral in de Z-richting effectief in het verminderen van de trillingen, in mindere mate in de X-richting en nauwelijks in de Y-richting

Ondanks het gegeven dat vooral over een gladde cementvloer werd gereden bleken relatief hoge Crest-waarden te zijn gemeten, vooral zijwaarts en verticaal. Deze konden worden herleid op de beschadigingen en beschadigde overgangen tussen vloergedeelten. Dit betekent dat de chauffeurs worden blootgesteld aan piekbelastingen. Dat deze piekbelastingen regelmatig optreden laat figuur 11 overtuigend zien.



Figuur 11: Tijdsree van een meting van lichaamstrillingen tijdens normale uitvoering van taak 6a. Verticaal is steeds de a_w (in m/s^2) weergegeven voor de drie trillingsrichtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts). De duur van de totale meting bedroeg ruim 16 minuten. De data in de figuur zijn exclusief de perioden van langere tijd wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting.

De chauffeurs gaven aan heftrucktaken de gehele werkdag uit te voeren. Of deze taak 6a daadwerkelijk de gehele dag wordt uitgevoerd, dan wel afgewisseld wordt met andere taken is niet duidelijk. Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling is aangenomen dat deze taak de gehele werkdag wordt uitgevoerd. Deze is met een effectieve dagelijkse werkduur van 7.5 uren doorgerekend. Verder stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van zijn taak af en toe van de heftruck. Tijdens de metingen bedroeg dit 2% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is dan ook met een werkelijke blootstellingstijd van 7 uur en 21 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 16; let wel: omdat er alleen data van twee chauffeurs van de situatie beheerst rijden zijn gemeten, is deze tabel opgesteld voor beheerst rijden!) blijft onder de actiewaarde voor alle trillingsrichtingen en behoeft strikt genomen geen verdere actie. Wel zou het goed zijn, gezien de forse piekbelastingen die optreden bij het passeren van beschadigde delen van de vloer, óók tijdens beheerst rijden, aan het tijdig repareren van deze beschadigingen aandacht te besteden.

Tabel 16: Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 6a: transport van tussenopslag naar bulk, binnen aan de [straat]. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens beheerst rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s^2)	Dagelijkse blootstelling (m/s^2)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 6a: transport van tussenopslag naar bulk - binnen ([straat])	7.35	X	0.30	0.29	>24
		Y	0.28	0.27	>24
		Z	0.43	0.41	12.0

3.7 Taak 6b: transport van tussenopslag naar bulk (via buiten; [straat])

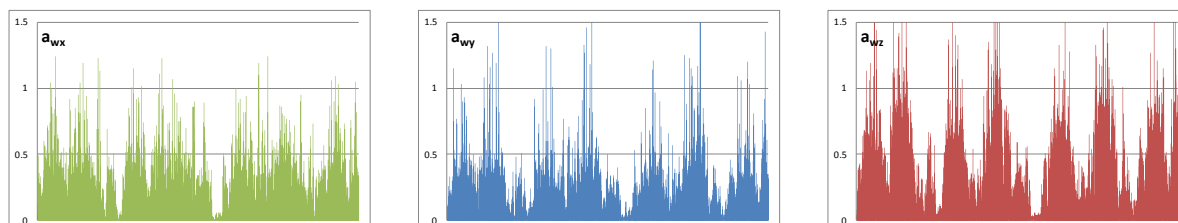
Tabel 17: Blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z tijdens het transport van tussenopslag naar bulk, via buiten, aan de [straat]. Weergegeven zijn gemiddelden van de drie chauffeurs van de RMS trillingswaarde a_w (in m/s^2), Crest-factor (-) en seat effective amplitude transmissibility (SEAT, in %), en de totale duur van de metingen (in s) voor de personen samen, voor normaal (links) en beheerst (rechts) rijden. In de meetuitkomsten zijn de perioden van wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting niet meegenomen.

Meting op stoelzitting: normaal rijden					Meting op stoelzitting: beheerst rijden				
	a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)		a_w	Crest	SEAT	Tot duur (s)
X	0.47	7.68	100%	1663	X	0.38	6.97	102%	1154
Y	0.45	12.14	105%		Y	0.39	9.15	105%	
Z	0.67	11.00	44%		Z	0.62	8.25	46%	

De blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens taak 6b, het transport van tussenopslag naar bulk, aan de [straat], ten dele via het buitenterrein (ondergrond bestaande uit betonplaten en straatklinkers), is samengevat in tabel 17, als gemiddelde over twee chauffeurs. Voor beide horizontale trillingsrichtingen blijft de blootstelling juist onder de actiewaarde. In de verticale richting wordt de actiewaarde overschreden, zowel tijdens normaal als beheerst rijden. Het gemiddeld effect van beheerst rijden over alle chauffeurs was een verlaging van de blootstelling met 6-19%. De gemiddelde rijsnelheid op het buitentraject (betonnen platen; 190- 275 m) was 15.3 km/uur (normaal onbeladen rijden; mét lading: 13.3 km/uur) en 12.4 km/uur (beheerst rijden zonder lading; mét lading: 11.3 km/uur).

De gemonteerde stoel bleek alleen in verticale richting effectief te dempen (50-60% verlaging; SEAT gemiddeld over beide chauffeurs: 45%). In beide horizontale richtingen was er geen sprake van demping: de gemiddelde SEAT was 103%.

De belasting door schokken, zoals uitgedrukt in de Crest-factor, blijkt bij deze taak te hoog, vooral in zijwaartse en verticale richting. De piekbelastingen ontstaan door ongelijk liggende betonplaten. Deze piekbelastingen in vooral de Y- en Z-richting zijn geïllustreerd in figuur 12. Het verschil in blootstelling tussen binnen rijden (korte stukken met lage blootstelling) en buiten rijden (langere stukken met hoge blootstelling) is goed waarneembaar.



Figuur 12: Tijdsree van een meting van lichaamstrillingen tijdens normale uitvoering van taak 6b. Verticaal is steeds de a_w (in m/s^2) weergegeven voor de drie trillingsrichtingen X (links), Y (midden) en Z (rechts). De duur van de totale meting bedroeg ruim 26 minuten. De data in de figuur zijn exclusief de perioden van langere tijd wachten en die waarop de chauffeur uitstapte en dus geen contact had met de stoelzitting.

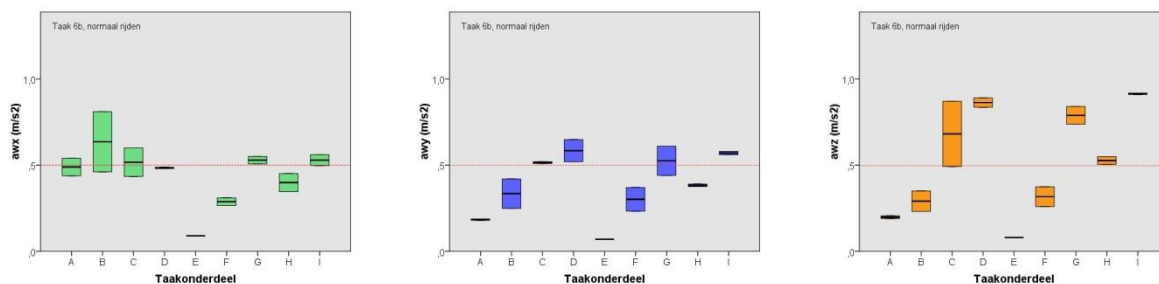
Evenals voor de voorgaande taak is aangenomen dat de chauffeurs de taak de gehele werkdag uitvoeren. Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling is met een effectieve dagelijkse

werkduur van 7.5 uren gerekend. Daarnaast stapt een chauffeur tijdens het uitvoeren van de taak regelmatig van de heftruck af om steunbalkjes weg te halen of neer te leggen. Tijdens de uitgevoerde metingen bedroeg dit gemiddeld 9% van de tijd. Voor de berekening van de dagelijkse trillingsblootstelling is daarom met een werkelijke blootstellingstijd van 6 uur en 50 minuten gerekend. De aldus berekende dagelijkse blootstelling voor deze taak (zie tabel 18) geeft aan dat de verticale trillingen een probleem vormen, waarbij na ruim 5 uur werken de actiewaarde bereikt wordt. De trillingen in het horizontale vlak veroorzaken geen beperkingen van de normale werktijd.

Tabel 18: *Berekende dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor taak 6b: het transport van tussenopslag naar bulk, via buiten, aan de [straat]. Op grond van de dagelijkse expositieduur (zie de tekst) en de gemiddelde blootstelling voor deze taak, tijdens normaal rijden, is het 8-uur equivalent ofwel de dagelijkse blootstelling berekend. Voor deze laatste waarden is in de laatste kolom aangegeven na hoeveel uren de actiewaarde wordt bereikt.*

Taakomschrijving	Expositie- duur (uur)	Trillings- richting	Gemiddelde blootstelling (m/s ²)	Dagelijkse blootstelling (m/s ²)	Maximale werktijd tot actiewaarde (uur)
Taak 6b: transport van tussenopslag naar bulk, ten dele via buiten ([straat])	6.83	X	0.47	0.44	10.4
		Y	0.45	0.42	11.5
		Z	0.67	0.62	5.2

Om acties ter vermindering van de verticale trillingsblootstelling effectiever te kunnen sturen, zijn de metingen van deze taak 6b in detail geanalyseerd op de relatieve bijdragen van elk van de taakonderdelen aan het totaal. Wederom zijn de volgende taakonderdelen onderscheiden: laden (A), lossen (B), onbeladen passeren van een drempel (C), beladen passeren van een drempel (D), wachten/korte stop (E), beladen rijden over gladde ondergrond (F), beladen rijden over betonnen platen (G), leeg rijden over gladde ondergrond (H), en leeg rijden over betonnen platen (I).



Figuur 13: *Blootstelling aan lichaamstrillingen in voor-achterwaarts richting (links), zijwaarts (midden) en verticaal (rechts) voor de onderdelen van taak 6b, transport van tussenopslag naar bulk, via buiten, aan de [straat], tijdens normaal rijden. De weergegeven data zijn een samenvatting van twee personen. De volgende taakonderdelen zijn onderscheiden: A: laden; B: lossen; C: onbeladen passeren van een drempel; D: beladen passeren van een drempel; E: wachten/korte stop; F: beladen rijden over gladde ondergrond; G: beladen rijden over betonnen platen; H: leeg rijden over gladde ondergrond; I: leeg rijden over betonnen platen. De gestreepte horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan.*

Figuur 13 laat de trillingsblootstelling in de drie richtingen zien per taakonderdeel. Voor verschillende taakonderdelen komt de blootstelling in alle richtingen boven de 0.5 m/s². De drempels leveren een vergelijkbare blootstelling als het rijden over betonplaten. Verder is het verschil tussen het rijden over een gladde vloer binnen en het rijden over de betonplaten buiten groot, vooral verticaal. Ook deze figuur laat zien dat de trillingen lager zijn als met een lading

gereden wordt, wederom verklaard door de grotere massa, maar ook door eventueel voorzichtiger rijden.

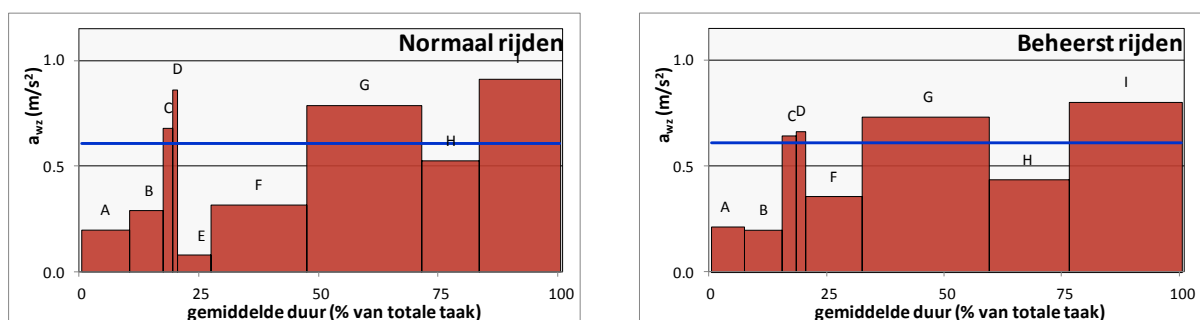
De gemiddelde blootstelling per richting en per taakonderdeel is samengevat in tabel 19, met als toevoeging de totale tijdsduur, absoluut tijdens de metingen en relatief ten opzichte van de totale taakduur.

Tabel 19: Gemiddelde blootstelling aan lichaamstrillingen voor de drie trillingsrichtingen X, Y en Z voor de onderscheiden onderdelen van taak 6b: transport van tussenopslag naar bulk, via buiten, aan de [straat], tijdens normaal rijden. Per taakonderdeel is de totale tijd aangegeven waarover de blootstelling is berekend, absoluut (in s) en relatief ten opzichte van de totale duur (in %).

Taakonderdeel	a_{wx} (m/s^2)	a_{wy} (m/s^2)	a_{wz} (m/s^2)	Totale tijd	
				(s)	(%)
A. laden	0.49	0.18	0.20	172	11%
B. lossen	0.64	0.33	0.29	115	7%
C. onbeladen passeren van drempel	0.52	0.51	0.68	28	2%
D. beladen passeren van drempel	0.48	0.58	0.86	22	1%
E. wachten/korte stop	0.09	0.07	0.08	107	7%
F. beladen rijden over gladde ondergrond	0.29	0.30	0.32	323	20%
G. beladen rijden over betonnen platen	0.53	0.53	0.79	400	25%
H. leeg rijden over gladde ondergrond	0.40	0.38	0.53	201	12%
I. leeg rijden over betonnen platen	0.53	0.57	0.91	261	16%

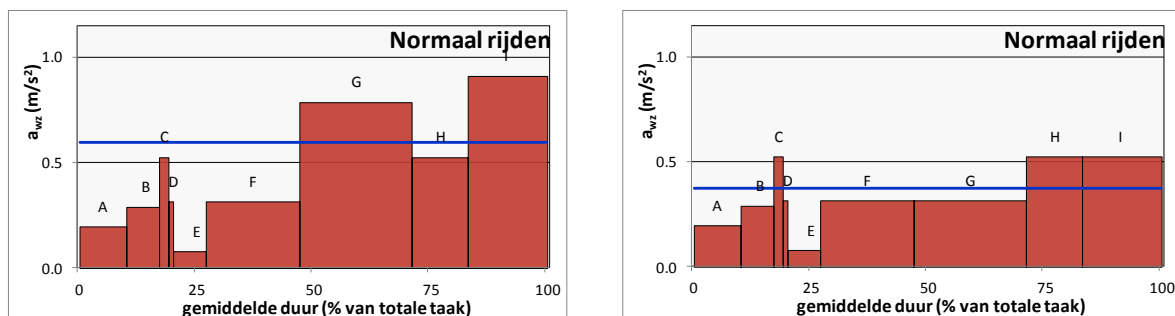
De verticale blootstellingen per taakonderdeel, met inbegrip van de duur van die onderdelen, zijn voor normaal en beheerst rijden tevens grafisch weergegeven in figuur 14.

De figuur laat zien dat bij zowel normaal als beheerst rijden de drempels en het rijden over betonplaat (met korte stukjes klinkers) het sterkst bijdragen aan de blootstelling. De blootstellingen voor de taak als geheel bedragen zowel voor normaal als beheerst rijden $0.61 m/s^2$. Dat deze uitkomst voor normaal rijden afwijkt van de uitkomst gegeven in tabel 15 ($0.67 m/s^2$) komt doordat figuur 14 een benadering laat zien volgens het gemiddelde patroon van beide chauffeurs. De uitkomst van het gemiddelde patroon wijkt af van het gemiddelde van de individuele patronen, en wel des te meer naarmate de verschillen tussen die individuele patronen groter zijn.



Figuur 14: Blootstelling aan lichaamstrillingen in verticale richting (a_{wz} in m/s^2) voor normaal (links) en beheerst rijden (rechts) voor de onderscheiden onderdelen (A-I) van taak 6b, transport van tussenopslag naar bulk aan de [straat], ten dele via buiten. De weergegeven data zijn een gemiddelde van twee personen. De volgende taakonderdelen zijn onderscheiden: A: laden; B: lossen; C: onbeladen passeren van een drempel; D: beladen passeren van een drempel; E: wachten/korte stop; F: beladen rijden over gladde ondergrond; G: beladen rijden over betonnen platen; H: leeg rijden over gladde ondergrond; I: leeg rijden over betonnen platen. De doorgetrokken horizontale lijn geeft de blootstelling voor de taak als geheel aan. Let wel dat onderdeel E niet voorkwam tijdens beheerst rijden.

In de situatie van normaal rijden is vervolgens gesimuleerd wat de blootstelling zou zijn indien de drempels en de betonnen platen zouden zijn vervangen door een gladde ondergrond, dat wil zeggen dezelfde blootstelling als tijdens rijden over een gladde ondergrond. Die simulatie is weergegeven in figuur 15, waarbij het linker paneel uitsluitend het vlakken van de drempels laat zien. In die situatie blijft de blootstelling a_{wz} voor de taak als geheel, dit is de horizontale lijn, met 0.60 m/s^2 nog altijd ruim boven de actiewaarde. In het rechter paneel zijn zowel drempels als betonnen platen vervangen door een gladde ondergrond. De blootstelling voor de gehele taak komt dan op 0.37 m/s^2 , ruim onder de actiewaarde. Het is duidelijk dat het effect van verbetering van de rijvloer niet kan worden gecompenseerd door beheerst rijden over de bestaande rijvloer.



Figuur 15: Simulatie van de blootstelling aan lichaamstrillingen in verticale richting (a_{wz} in m/s^2) voor normaal rijden waarbij de drempels (C en D) zijn vervangen door gladde ondergrond (links) en zowel drempels (C, D) als betonnen platen (G, I) zijn vervangen door gladde ondergrond (rechts) voor de onderscheiden onderdelen van taak 6b, transport van tussenopslag naar bulk aan de [straat], ten dele via buiten. De weergegeven data zijn een gemiddelde van twee personen. De doorgetrokken horizontale lijn geeft de blootstelling voor de gesimuleerde taak als geheel aan.

De combinatie van beheerst rijden met vlakken van vloer en drempels (niet afgebeeld) leidt niet tot verdere vermindering van de verticale trillingsblootstelling.

Ook in combinatie met het gegeven (zie tabel 18) dat de dagelijkse expositieduur minder is dan een 8-urige werkdag, betekent een blootstelling van 0.60 m/s^2 voor de taak zelf na aanpassingen van de drempels dat de dagelijkse blootstelling uitkomt op 0.55 m/s^2 , boven de actiewaarde. Dit betekent dat het hoe dan ook noodzakelijk is de rijvloer bestaande uit betonnen platen te vlakken, dan wel een speciale gevlakte corridor voor heftrucks te realiseren.

Bij de evaluatie van de trillingsblootstelling is tevens gekeken naar de door de EU vastgestelde limieten. Als alternatief voor de bovengenoemde evaluatie a_w is in de Europese wetgeving ook voorgesteld een dagelijkse trillingsdosis te berekenen. Deze wordt uitgedrukt als zogenoemde VDV. In de tabel van bijlage A is voor deze in detail uitgewerkte taak tevens de VDV waarde berekend, gesteld dat de expositie 6.83 uur per dag zal zijn (zie tabel 18). 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 tijdens zowel normaal als beheerst rijden optreedt, en wel in alle richtingen. Alleen tijdens beheerst rijden blijft de trilling in voor-achterwaarts richting onder deze limiet. Omdat de VDV maat meer dan de a_w gevoelig is voor heftige trillingen en schokken is tevens 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 de taak is hiertoe de statische

compressie S_{cd} van de rug berekend. De uitkomsten zijn tevens weergegeven in de tabel van bijlage A. Actie dient te worden ondernomen als de S_{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 grens wordt overschreden tijdens normaal rijden. De conclusie is dat schokken een belangrijke rol spelen in de trillingsbelasting van de heftruckchauffeurs tijdens de gemeten werkzaamheden.

De conclusie uit voorgaande is dat voor taak 6b, het gedeeltelijk via het buitenterrein transporteren van tussenopslag naar bulk aan de [straat], de trilling- en schokbelasting door ongelijk liggende betonnen platen en klinkers te hoog is tijdens de normaal uitgevoerde werkzaamheden. Een meer beheerst rijgedrag blijkt onvoldoende de ongelijke rijvloer te kunnen compenseren voor de verticale trillingsblootstelling. Het betekent dat de rijvloer moet worden gevlakt, geheel of ten dele, waarbij in dit laatste geval een speciale vlakke corridor voor de heftrucks wordt gecreëerd.

4 Conclusies en aanbevelingen

De volgende conclusies kunnen worden getrokken op grond van de metingen en analyse:

- Voor twee van de zeven gemeten taken met heftrucks binnen het logistieke proces is de trillingsbelasting te hoog. De oorzaken hiervan zijn vooral:
 1. Het ongelijk liggen van een deel van de rijvloer die opgebouwd is uit betonnen platen. Deze delen zullen daarom moeten worden verbeterd. Het vlak maken ervan tot vergelijkbaar met een vlakke betonvloer met cement deklaag is effectief in het reduceren van de trillingsbelasting tot onder de wettelijke norm.
 2. De relatief hoge rijsnelheid ten opzichte van die tijdens de andere vijf taken (voor zover het mogelijk was deze vast te stellen). Het enigszins temperen van de maximaal mogelijke rijsnelheid in combinatie met het vlakken dan de rijvloer is een effectieve methode om de trillingsblootstelling te verminderen.
- Voor alle gemeten taken geldt dat er relatief hoge piekbelastingen optreden. In de meeste gevallen konden deze worden herleid op ongelijke overgangen tussen verschillende vloeren of vloergedeelten, of op beschadigingen in de rijvloer. Het wordt sterk aangeraden deze overgangen te vlakken en beschadigingen naadloos te repareren, omdat juist piekbelastingen een groot aandeel hebben in het ontstaan van gezondheidsschade. Tevens zal dit leiden tot een betere beheersing van het aantal chauffeurs met lichamelijke klachten: meer dan de helft heeft klachten van rug, nek of schouders, en 88% van hen geeft aan dat het werk er de oorzaak van is.
- De trillingsbelasting ontstaat vooral door het rijden (transport) zelf; het aandeel van laden en lossen is relatief beperkt.
- Het aanleren en onderhouden van beheerst rijgedrag, dat wil zeggen tijdig anticiperen op ongelijkheden, gaten, bochten en hindernissen, zal doorgaans een bijdrage tot 20% leveren in het verminderen van de trillingsblootstelling.
- De demping van de gemonteerde stoelen op alle gemeten heftrucks was effectief in de verticale richting. In horizontale richting was deze veel minder of ontbrak. Op grond van de metingen kan niet een duidelijke voorkeur voor een stoeltype worden aangegeven. Opvallend is dat de gemonteerde twee Savas Columbus stoelen, overigens niet identiek qua vorm, bekleding en leeftijd, zowel de meest als de minst effectieve verticale demping vertoonden in de beide meest belastende taken. Het kan zijn dat het veersysteem van de oudere stoel (heftruck 2, taak 2) onderhoud behoeft.

Aanbevelingen:

1. Wil het bedrijf de trillingsblootstelling van de heftruckchauffeurs effectief verlagen tot onder het gezondheidkundig maximum, dan wordt aanbevolen in ieder geval de gedeelten van de rijvloer waar met heftrucks met een snelheid van meer dan ca. 10 km/uur gereden wordt zódanig te vlakken dat deze vergelijkbaar wordt met een vlakke betonvloer met cement deklaag. Het meest urgent zijn de centrale laadplaats en het buitenterrein van de locatie [straat].
2. Belangrijk is tevens aandacht te besteden aan het creëren van zo vlak mogelijke en drempel- en richelloze overgangen tussen de vloergedeelten van verschillende magazijnen of magazijngedeelten. Dit geldt voor alle magazijnen en buitenterreinen. De meeste gemeten huidige overgangen leiden tot te hoge piekbelastingen die vanuit gezondheidkundig oogpunt vermeden moeten worden.
3. Tot slot wordt aanbevolen meer aandacht te besteden aan onderhoud. Ten eerste van de rijvloer, waardoor beschadigingen als bijvoorbeeld een kapot gereden toplaag snel en vlak kunnen worden gerepareerd. Ten tweede van het voertuigenpark, en vooral ook van de op de voertuigen gemonteerde stoelen. De huidige metingen geven aanwijzingen hiervoor. Aanbevolen wordt een jaarlijkse controle op werking en slijtage van alle essentiële dempende onderdelen uit te voeren of te laten voeren.

Bovenstaande maatregelen hebben bij verre de voorkeur boven het afdwingen van meer beheerst rijgedrag van de chauffeurs of het technisch limiteren van de maximaal mogelijke rijnsnelheid. Bij een sterk ongelijke ondergrond doet het eerstgenoemde een sterk beroep op permanente alertheid van de chauffeurs, iets dat gedurende een normale werkdag niet goed vol te houden is. De tweede maatregel zal de chauffeurs frustreren, zeker in tijden van drukte.

Ook op de centrale laadplaats kunnen bovenstaande aanbevelingen 1 t/m 3 leiden tot een voldoende verlaging van de trillingsblootstelling. Indien namelijk een vlakke rijvloer wordt gecombineerd met een verticale stoeldemping die effectiever is dan huidig gemeten – iets dat bijvoorbeeld het geval is bij eenzelfde stoel gemeten aan de [straat] – zal de blootstelling aan trillingen onder de actiewaarde komen. Een eenvoudige meting kan aantonen of de demping van een stoel voldoende zal zijn.

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 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 2 : laden en lossen van trailers op de centrale laadplaats

Taak 6b : transport van tussenopslag naar bul via buiten ([straat])

Onderscheid is gemaakt naar normaal en beheerst rijden.

Taak 2: laden en lossen op centrale laadplaats												
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 2, normaal	x	3337		0.331	-	3.58	5.35	0.21	24588	7.80	0.36	
	y			0.369		3.38	5.05			7.34		
	z			0.674		6.25	6.10			13.58		
Taak 2, beheerst	x	3283		0.278	-	2.48	3.07	0.18	24588	5.48	0.30	
	y			0.300		2.74	4.39			6.06		
	z			0.543		5.28	5.11			11.63		

Taak 6b: Transport tussenopslag naar bulk via buiten												
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 6b, normaal	x	1629		0.471	-	3.52	5.00	0.30	24588	9.12	0.58	
	y			0.447		4.02	7.88			10.51		
	z			0.665		5.09	7.68			13.12		
Taak 6b, beheerst	x	1104		0.381	-	2.72	3.71	0.23	24588	7.36	0.46	
	y			0.387		3.29	6.48			8.79		
	z			0.625		4.45	5.56			11.81		

B: fotogalerij van de gemeten voertuigen



1. Jungheinrich EFG 430



2. Jungheinrich EFG 430



3. Jungheinrich ETV C20



4. Still RX60-35



5. Jungheinrich TFG 435s