

Rapport

Blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van moderne zelfrijdende cirkelmaaimachines tijdens het maaien van plantsoenen in de praktijk

Exposure to whole-body vibration of drivers of state-of-the-art self-propelled wide area rotary mowers during mowing of public gardens in practice

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2013-3110



Rapport

Blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van moderne zelfrijdende cirkelmaaimachines tijdens het maaien van plantsoenen in de praktijk

Exposure to whole-body vibration of drivers of state-of-the-art self-propelled wide area rotary mowers during mowing of public gardens in practice

Huub H.E. Oude Vrielink

Rapport 2013-3110

Colophon

About ErgoLab Research B.V.

‘Knowledge works better’

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

In the area of human vibration evaluation and technology, ErgoLab Research has conducted a number of investigations and consultancy measurements. The reports, most of them also containing the detailed conditions and results of the measurements, can be downloaded from www.ergolabresearch.eu. Examples are:

- Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations during work in the green area (2007)
- Measurement of daily exposure to whole-body vibration during transport of stapled do-it-yourself products using forklift trucks (2013)

Title	Blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van moderne zelfrijdende cirkelmaaimachines tijdens het maaien van plantsoenen in de praktijk (<i>Exposure to whole-body vibration of drivers of state-of-the-art self-propelled wide area rotary mowers during mowing of public gardens in practice</i>)
Author(s)	Huub H.E. Oude Vrielink
Report number	2013-3110
ISBN-number	
Date of publication	October 2013
Language	NL, summary in EN
Confidentiality	-
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.

Voorwoord

Dit document rapporteert de metingen van ErgoLab Research B.V. van de blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs in de plantsoendienst tijdens hun normale werkzaamheden. De metingen zijn het initiatief van de branchevereniging voor ondernemers in het groen (VHG), FNV Bondgenoten en CNV Vakmensen. Directe aanleiding voor het onderzoek waren de resultaten van metingen uitgevoerd in 2006 en de interpretatie ervan in de Arbocatalogus voor de Hoveniers en Groenvoorziening: voor het maaien van plantsoenen wordt een maximale dagelijkse werktijd van 4 uur geadviseerd, op grond van de geldende wetgeving. De vraag werd gesteld of de ontwikkelingen in maaimachines en stoelen zódanig zijn dat er langer gewerkt kan worden met moderne machines.

ErgoLab Research, een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau dat als doel heeft specialistische kennis te vergaren en uit te dragen, is gevraagd de metingen op de wetenschappelijk juiste wijze uit te voeren en de uitkomsten ervan helder en degelijk te interpreteren en te presenteren. Dit rapport is tevens bedoeld als goede documentatie, zoals beschreven in het Arbeidsomstandighedenbesluit.

De volgende personen en bedrijven worden hartelijk bedankt voor hun bereidwillige medewerking en ondersteuning:

- Hoveniersbedrijf Van Ginkel Veenendaal: Chris van den Dikkenberg (locatiemanager) en de testchauffeurs Arie Drost, Wilco van Hal en Andries van de Vendel;
- De leveranciers Van der Pols (Zuidland), Jean Heybroek (Houten), Staadegaard & Zn (Lieshout) voor het beschikbaar stellen van de maaimachines;
- Michel Kuijpers (John Deere) en Willem van der Horst (Votex) voor het geven van adviezen over de instellingen van de maaimachine tijdens de metingen;
- De chauffeurs van diverse hoveniersbedrijven voor het registreren van één of meer werkdagen in dagboekjes;
- De begeleidingsgroep van dit project, bestaande uit de volgende vertegenwoordigers:
 - Jan Batenburg (VHG)
 - Ingrid Sangers (VHG)
 - Monique Daamen (FNV Bondgenoten)
 - Henry Stroek (CNV Vakmensen)
 - Sjoek van der Maarl (Stigas)
 - Theo Vulink (Fedecom)

Samenvatting

Een update van een zeven jaar geleden uitgevoerd onderzoek naar de blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van plantsoenmaaiers is uitgevoerd in opdracht van branchevereniging VHG, FNV Bondgenoten en CNV Vakmensen. Het advies tot beperking van de dagelijkse werktijd op de maaimachine, geformuleerd in de Arbocatalogus voor de bedrijfstak op grond van de meetresultaten destijds en de wettelijke normen ter bescherming van de gezondheid van werknemers, beperkt een efficiënte planning en uitvoering van het werk voor veel werkgevers. Het doel van het onderzoek was te bepalen of de technische ontwikkelingen van de maaimachines per 2013 zover gevorderd zijn dat werknemers aan minder lichaamstrillingen worden blootgesteld, zodat de maximale werktijd per dag kan worden verruimd.

Het onderzoek is uitgevoerd in de praktijk met vrijwillige medewerking van een hoveniersbedrijf in Veenendaal met zijn drie professionele chauffeurs. Drie leveranciers van de in Nederland meest toegepaste plantsoenmaaiers (Toro, Ransomes, John Deere) stelden vrijwillig een zelfrijdende maaimachine beschikbaar. Alle maaimachines waren van vergelijkbare grootte en vermogen en voorzien van drie dekken met roterende messen. Alle chauffeurs maaiden steeds dezelfde set van vijf plantsoenen in Veenendaal, per machine op een andere dag met een tussenruimte van 2-3 weken. Ook werd het aan- en afrijden naar en van de plantsoenen gemeten. Twee van de plantsoenen werden gemeten waarbij de chauffeur als opdracht had op zijn normale wijze te maaien. Bij twee andere kreeg de chauffeur de opdracht mee “gehaast” te maaien (alsof hij iets te weinig tijd had gekregen voor de opdracht). Het laatste plantsoen werd “beheerst” gemaaid (dus: de chauffeur kreeg meer dan genoeg tijd voor de opdracht). De metingen van trillingen werden op de stoelzitting en aan de stoelbasis in drie richtingen (X, dit is voor-achter; Y, opzij; Z, zijnde verticaal) uitgevoerd volgens ISO-2631-1: 1997 norm en online bewaard op een laptop. Verwerking van de gegevens gebeurde achteraf met behulp van de tevens continu geregistreerde rijsnelheidsgegevens (m.b.v. GPS) en camerabeelden vanaf de cabine. Effectiviteit van de stoeldemping werd bepaald als zogenaamde SEAT waarde. Als onderdeel van het juist schatten van de dagelijkse blootstelling is meerdere chauffeurs van plantsoenmaaiers gevraagd nauwkeurig een dagbesteding bij te houden in een voor dit doel ontworpen dagboekje. Dertien chauffeurs retourneerden één of meer dagboekje(s), waarvan de gegevens van 7 chauffeurs vanwege voldoende nauwkeurigheid bruikbaar waren. Het betrof in totaal 12 gehele werkdagen.

Lichaamstrillingen gemeten op de stoelzitting tijdens het maaien van plantsoenen varieerde tussen 0.63 en 0.76 m/s^2 (X; mediaan: 0.69 m/s^2), 0.48 en 0.72 m/s^2 (Y; mediaan: 0.59 m/s^2), en 0.44 en 0.54 m/s^2 (Z; mediaan: 0.47 m/s^2) bij gebruik van de drie maaimachines bij normaal rijgedrag (de spreidingen zijn medianen over de chauffeurs). De rijsnelheid bedroeg hierbij gemiddeld 6.1 km/h. In alle gevallen bleken de trillingen in het horizontale vlak (X of Y) het hoogst en beperkend voor de maximale dagelijkse werkduur. Voor aan- en afrijden bedroeg spreiding in de waarden respectievelijk 0.33 - 0.40 m/s^2 (X; mediaan: 0.39 m/s^2), 0.28 - 0.42 m/s^2 (Y; mediaan: 0.34 m/s^2), en 0.39 - 0.50 m/s^2 (Z; mediaan: 0.40 m/s^2).

Beheerst rijden leverde een aanzienlijke reductie in de blootstelling aan lichaamstrillingen op: mediane meetwaarden over alle chauffeurs en machines waren 0.58 m/s^2 (X), 0.49 m/s^2 (Y) en

0.41 m/s² (Z). De gemiddelde rijnsnelheid bleek met 5.9 km/h nauwelijks lager dan tijdens normaal rijden. Gehaast rijden ging gepaard met zowel een hogere gemiddelde rijnsnelheid (7.7 km/h) als hogere blootstellingen (0.74 m/s² voor X, 0.75 m/s² Y en 0.57 m/s² als mediane waarde voor Z).

De stoeldemping bleek nauwelijks afhankelijk van het rijgedrag tijdens het maaien. SEAT waarden bedroegen mediaan 107%, 100% en 52% voor respectievelijk X, Y en Z. Het betekent dat tijdens het maaien alleen in verticale richting de trilling vanuit de cabinebodem effectief wordt gedempt. Wel lijkt de demping in alle richtingen meer effectief in vergelijking met zeven jaar geleden.

Uit de inventarisatie van de dagindeling van chauffeurs van plantsoenmaaiers blijkt dat het maaien zelf zo'n 63% van de totale werkdag van bijna 9 uur exclusief pauzes vraagt. Het relatieve aandeel van aan- en afrijden en van het transport van de maaimachine met een bus of aanhanger bedraagt respectievelijk 13% en 8%. Overige taken als tanken en onderhoud waarbij geen blootstelling aan lichaamstrillingen is aangenomen bedragen samen 15% van de werkdag.

Met het combineren van de gemeten blootstellingswaarden en de gemiddelde dagindeling blijkt de blootstelling voor een volledige werkdag voor alle machines boven de actiewaarde als gezondheidsgrens voor een normale werkdag uit te komen. Het blijkt nog altijd niet mogelijk een volledige werkdag te besteden aan het plantsoen maaien, gegeven de verschillende taken volgens de dagindeling. De actiewaarde wordt, bij normaal rijgedrag, bereikt na 5-6 uur werk. Indien beheerst rijgedrag wordt aangeleerd wordt de actiewaarde pas na 7-8 uur bereikt.

Voor de praktijk in de groenvoorziening zou het wenselijk zijn dat de maaimachines trillingstechnisch worden verbeterd. Vooral zou hierbij aandacht moeten worden besteed aan het verminderen van de trillingen in het horizontale vlak. Of uitsluitend een verende stoel als demping in deze richting voldoende is blijkt onvoldoende uit de huidige metingen. Wel en nadrukkelijk wordt aanbevolen aandacht te besteden aan de geconstateerde overdracht van verticale cabinetrillingen op de voor-achterwaarts gerichte beweging van de stoel. Onderzocht moet worden of betere demping van achterwielen of banden resulteert in een verminderde overdracht. Hierbij moet goed worden nagegaan of niet eventuele ongewenste resonantie-effecten ontstaan door interactie van de maatregelen met de al aanwezige demping in de stoel.

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Introductie, probleem en doel	11
1.1 Korte historie	11
1.2 Blootstelling aan lichaamstrillingen bij maaien plantsoenen	12
1.3 Probleem en doel	13
2 Materialen, methode en procedure	15
2.1 Chauffeurs	15
2.2 Machines	15
2.3 Locatie, organisatie en omstandigheden van de metingen	16
2.4 Normale werkdagpatronen in de praktijk	18
2.5 Meetinstrumenten en -procedure	18
2.6 Dataverwerking	20
2.7 Interpretatie van meetwaarden naar dagelijkse blootstelling	23
2.8 Presentatie van de data en statistiek	24
3 Resultaten en bespreking	25
3.1 Duur van een werkdag en deeltaken in de praktijk	25
3.2 Blootstellingsmetingen	26
3.2.1 Maaien	26
3.2.2 Aan- en afrijden	32
3.2.3 Vergelijking met de door de fabrikanten opgegeven trillingswaarden	35
3.3 Dagelijkse werktijden op basis van de metingen	36
4 Conclusies en aanbevelingen	39
Referenties	41
Summary	43
Bijlagen	45
A: meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken	45
B: fotogalerij van de gemeten cirkelmaaiers	46
C: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 1	47
D: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 2	48
E: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 3	49

1 Introductie, probleem en doel

1.1 Korte historie

Sinds vele decennia worden lichaamstrillingen in verband gebracht met schadelijke uitwerkingen op het lichaam. Legden onderzoekers aanvankelijk de relatie vooral met zenuwprikkeling en vroegtijdige vermoeidheid (Reiher & Meister, 1931), later werd het verband met rugschade sterker gelegd, zoals beschreven en onderzocht door Dupuis (1969). Ondanks dat er in diverse onderzoeken aandacht aan is besteed, is tot op heden de relatie tussen de blootstelling aan lichaamstrillingen en het ontstaan van rugproblemen niet hard en oorzakelijk aangetoond. Wel wordt er op grond van diverse studies en meta-analyses (voorzichtig) geconcludeerd dat lange-termijn blootstelling aan lichaamstrillingen schadelijk kan zijn voor de rug (Hulshof & Veldhuijzen van Zanten, 1987; Bovenzi & Hulshof, 1999; Lings & Leboeuf-Yde, 2000). Met name geldt dit voor schokbelasting (Waters et al., 2007).

Om de kracht van verschillende onderzoeken te bundelen, zodat de complexe metingen en effecten beter met elkaar konden worden vergeleken, heeft de ISO Technische Commissie 108 vanaf 1974 richtlijnen opgesteld: ISO-2631. De jongste versie dateert van 1997 (ISO-2631-1, 1997). De richtlijn beschrijft vooral hoe metingen moeten worden uitgevoerd en resultaten moeten worden uitgedrukt. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan voor de blootstellingsgrenzen in relatie tot de gezondheid, aanvankelijk voorzichtig en in de laatste versie met meer stelligheid. Echter, nog steeds is aangegeven, gezien het gebrek aan wetenschappelijk bewijs, dat de gezondheidsgrenzen worden omgeven door onzekerheid.

De herhaaldelijk gerapporteerde trend van meer rugklachten en –aandoeningen bij sterkere en langere blootstellingen aan lichaamstrillingen was voor de Europese Commissie aanleiding om wetgeving te maken. Dit met het oog op gezondheidsbescherming van werknemers. De wetgeving is in 2002 van kracht geworden (EU, 2002) en in 2005 geïmplementeerd in de Nederlandse wetgeving, meer concreet in het Arbeidsomstandighedenbesluit (Staatsblad 372, 2005). In de wet zijn o.a. actie- en grenswaarde voor de dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen vastgelegd: respectievelijk 0.5 en 1.15 m/s². Als een werknemer op enige werkdag de actiewaarde overschrijdt moet actie worden ondernomen: maatregelen die de blootstelling aan lichaamstrillingen beperken. Bijvoorbeeld is dit het toepassen van een andere werkmethode of ander hulpmiddel, het plegen van onderhoud of het beperken van de arbeidstijd. De grenswaarde mag nooit worden overschreden. Uitzondering op dit laatste is het werken met hulpmiddelen of machines die vóór 6 juli 2007 zijn aangeschaft. Voor de agrarische sector en bosbouw wordt een overschrijding van de grenswaarde tot 6 juli 2014 getolereerd. De wetgeving geldt voor iedere werkdag. De hoogste van de drie trillingsrichtingen (voor-achter, zijwaarts, of verticaal) is bepalend.

Omdat de consequenties van de nieuwe wetgeving voor de Nederlandse agrarische sector, inclusief groenvoorzieningen en bosbouw, volstrekt onduidelijk waren, is in 2006 een omvangrijk onderzoek uitgevoerd naar de blootstellingen aan trillingen bij de meest voorkomende en meest risicovol geachte werkzaamheden. Voor de groenvoorzieningen betrof dit o.a. het maaien van plantsoenen en van sportvelden (Oude Vrielink, 2007^a).

1.2 Blootstelling aan lichaamstrillingen bij maaien plantsoenen

In 2006 is met twee verschillende merken cirkelmaaiers en met twee chauffeurs de blootstelling aan lichaamstrillingen bepaald tijdens het maaien van plantsoenen (Oude Vrielink, 2007^a). Het betrof plantsoenen in een woonwijk van Wageningen, waarbij ieder plantsoen hindernissen als bankjes en bomen bevatte en de verschillende velden werden gescheiden door verharde weg. Ook werd het aan- en afrijden over asfaltweg onderzocht. De metingen gaven aan dat trillingen in voor-achterwaarts en zijwaarts richting te hoog waren: mediane waarden van respectievelijk 0.61 en 0.63 m/s² voor het maaien zelf. Verticaal bleef de blootstelling met 0.46 m/s² onder de actiewaarde. Het aan- en afrijden leverde trillingsblootstellingen onder of rond de actiewaarde voor elk van de trillingsrichtingen. Met een dagelijkse werkduur van 8 uren en een schatting dat 80% van de werkdag zou bestaan uit maaien en 10% uit aan- en afrijden, werd berekend dat de actiewaarde na 4.6 – 5.8 uren werd bereikt. Voor een individuele chauffeur, echter, kon de actiewaarde al na 2.8 uren zijn bereikt. Op grond van deze metingen wordt in de huidige Arbocatalogus voor de Hoveniers en Groenvoorziening (Stigas, 2008) geadviseerd het maaien van plantsoenen door eenzelfde chauffeur niet langer dan 4 uur per werkdag te laten uitvoeren, of maximaal 3 dagen per werkweek. Bovendien wordt aanbevolen het optrekken en afremmen rustig uit te voeren, dit om de trillingen in voor-achterwaarts richting te beperken.

Vanuit de literatuur zijn weinig gegevens bekend over de blootstelling aan lichaamstrillingen van chauffeurs van maaimachines. Paddan & Griffin (2002) rapporteren vergelijkbare waarden als boven beschreven voor maaimachines, hoewel omstandigheden en type machines niet nader zijn omschreven: blootstelling in de hoogste richting varieerde van 0.56 tot 0.76 m/s². Ook Tiemessen heeft ten behoeve van zijn onderzoek enkele meetdata gerapporteerd. Hij bevestigt de hoogste waarden in de beide horizontale trillingsrichtingen ten opzichte van verticaal (Tiemessen *et al.*, 2008^a). Echter, de meetwaarden inclusief ISO-voorgescreven correctiefactor van 1.4 voor beide horizontale richtingen (zie voor een uitleg hiervan het volgende hoofdstuk waarin de methoden zijn uitgelegd) liggen aanzienlijk hoger dan in het onderzoek van Oude Vrielink (2007^a) gemeten: 1.16 en 1.22 m/s² voor respectievelijk voor-achter en zijwaarts. Verticaal werd 0.56 m/s² gerapporteerd. Het betrof één enkele moderne cirkelmaaier met één chauffeur. In een later uitgevoerd meer uitgebreid onderzoek zijn een groter aantal (n=9) machines en chauffeurs gemeten (Tiemessen *et al.*, 2008^b). Echter, geen informatie is weergegeven over de trillingsblootstelling per trillingsrichting. Uitsluitend de vectorsom gemiddeld over alle metingen is gerapporteerd. De grootte van deze waarde doet vermoeden dat in de laatstgenoemde groep de trillingsblootstelling vergelijkbaar of enigszins hoger is ten opzichte van de waarden gerapporteerd door Oude Vrielink (2007^a).

De verschillen in uitkomsten tussen de verschillende metingen kunnen meerdere oorzaken hebben (zie voor een overzicht o.a. Tiemessen *et al.*, 2007). Voor het maaien van plantsoenen zijn de mate van ongelijkheid van de velden (bijvoorbeeld door mollengangen, gaten, takken) en de rijsnelheid van belang. Andere factoren zijn massa van de machine, banddiameter, bandenspanning, demping van de stoel en constructie van de machine. Bij deze laatste moet worden gedacht aan plaats en hoogte van de stoel ten opzichte van de assen. Ook speelt de chauffeur zelf een rol: lichaamsmassa en rijgedrag zijn medebepalend voor de grootte van de blootstelling.

1.3 Probleem en doel

De beperking van de dagelijkse arbeidstijd op de maaimachine is voor veel werkgevers en werknemers in de praktijk een probleem met het oog op efficiency, kostenbeheersing en taakuitvoering. Vanuit de sociale partners, bestaande uit Branchevereniging VHG, FNV Bondgenoten en CNV Vakmensen – samen de belangrijkste belangenbehartigers voor werknemers en ondernemers in de groene sector – is daarom de vraag gesteld of de stand der techniek op het gebied van zelfrijdende maaimachines voor het maaien van plantsoenen inmiddels zover ontwikkeld is dat de trillingsblootstelling voor de chauffeur verlaagd is ten opzichte van eerder verrichte metingen. Het gevolg zou zijn dat het advies voor de maximale werkduur per dag voor het maaien van plantsoenen kan worden verhoogd.

De hierboven geformuleerde vraag heeft niet alleen betrekking op de maaimachine zelf. Evenzeer geldt deze voor de gemonteerde stoel. Uit eerder onderzoek (Oude Vrielink, 2007^a) bleek dat de stoelen alleen effectief dempen in verticale richting, en de neiging hebben trillingen in het horizontale vlak te versterken ten opzichte van de cabinebodem. De vraag kan worden gesteld of het opnemen van een horizontale vering in de stoel bijdraagt aan het verlagen van de blootstelling.

In het gerefereerde onderzoek van 2007 is de arbeidsdag van een werknemer in maaidienst niet precies in kaart gebracht. Door de betrokkenen is toen geschat dat 80% van een werkdag effectief werd besteed aan het maaien zelf, 10% aan aan- en afrijden en 10% aan overige taken, waarbij geen blootstelling optreedt. Gevraagd is een meer precieze schatting te maken van de taken en tijden op een werkdag, tijdens welke wél en geen blootstelling optreedt, omdat alleen zo de juiste basis van de berekening van de dagelijkse blootstelling wordt gelegd.

Willen ondernemer en werknemers zich bij de aanschaf van een andere machine zich (mede) laten leiden door de hoogte van de trillingsblootstelling, dan is veelal het enige houvast de wettelijk verplichte opgave van de fabrikant van de trillingsblootstelling in de gebruiksaanwijzing. De waarden dienen gebaseerd te zijn op ofwel reële meetwaarden ofwel op waarden gemeten volgens de meest passende normen. De vraag is of de opgegeven waarden overeen komen met die gemeten in de praktijk. En, indien deze afwijken, of de afwijking kan worden verklaard uit de verschillen tussen praktijkomstandigheden en die in de passende norm omschreven.

Tot slot is het onduidelijk of de aanbeveling in de Arbocatalogus om het optrekken en afremmen rustig uit te voeren effectief is en daadwerkelijk tot een gewenste verlaging van de blootstelling leidt.

Doel van het onderzoek was een nauwkeurige schatting te maken van de blootstelling aan lichaamstrillingen van een chauffeur van een state-of-the-art zelfrijdende maaimachine tijdens een normale werkdag, met als belangrijkste taak het maaien van plantsoenen. Het doel werd beantwoord aan de hand van de volgende vragen:

1. Hoe groot is voor de taak als geheel de geschatte normale dagelijkse blootstelling aan lichaamstrillingen van de chauffeur? Wat is de (kwantitatieve) bijdrage van elk van de onderscheiden deeltaken?
2. Blijft de geschatte dagelijkse blootstelling beneden de norm (i.e. de actiewaarde) voor de volledige duur van een werkdag? Wat wordt de maximale duur van een werkdag alvorens de actiewaarde wordt bereikt?

3. Blijft de belasting door schokken beneden de gezondheidkundige grens?
4. Welk verschil in blootstelling levert het gebruik van machines van verschillende merken op? Hoe valt de vergelijking tussen opgegeven waarde en gemeten waarde uit? Is het eventuele verschil te verklaren op grond van verschillen in testomstandigheden?
5. Is de standaard gemonteerde stoel effectief in het dempen van de trillingen overgebracht door het chassis? Is een verticale stoelvering effectief in het verlagen van de verticale blootstelling aan lichaamstrillingen?
6. Wat is de invloed van een instructie om verschillend rijgedrag te bewerkstelligen op de blootstelling? Wat is de relatie tussen rijgedrag en rijsnelheid? Wat betekent deze relatie voor de werkprestatie?
7. Heeft de hoogte van de blootstelling een relatie met kenmerken van de chauffeur (lichaamsmassa, rijgedrag)? Wat is die relatie?
8. Waar liggen mogelijkheden voor werknemer, ondernemer en fabrikant om de blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens het maaien van plantsoenen verder omlaag te brengen?

2 Materialen, methode en procedure

Trillingsblootstellingen zijn gemeten tijdens het rijden op drie verschillende machines, elk op een verschillende werkdag gemeten (18-06-2013, 27-06-2013 en 09-07-2013), met behulp van 3 ervaren medewerkers. Zij zijn gevraagd de maaitaak op drie verschillende wijzen uit te voeren: (a) de voor hen normale wijze, (b) op een beheerste manier (met als instructie dat de chauffeur heel erg veel tijd heeft gekregen voor het maaien), en (c) op een gehaaste manier (met als instructie dat de chauffeur eigenlijk een beetje te weinig tijd voor de taak heeft gekregen). De genoemde volgorde van wijze van uitvoeren per chauffeur lag niet vast. Wel werd, omwille van de vergelijkbaarheid van de uitkomsten over de chauffeurs, steeds op dezelfde plantsoengedeelten volgens een bepaalde instructie gemaaid. Op één meetdag werden alle plantsoengedeelten drie keer gemaaid, door elke chauffeur één keer. De chauffeursvolgorde per meetdag was steeds verschillend.

2.1 Chauffeurs

Metingen zijn uitgevoerd met 3 chauffeurs (allen mannelijk). 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. Eén van hen rapporteerde lichamelijke rugklachten in het voorbije jaar. De klacht betekende geen belemmering voor de werkzaamheden tijdens het onderzoek. Hij gaf aan te vermoeden dat deze klacht werd veroorzaakt door het werk. Ieder nam vrijwillig aan het onderzoek deel en tekende een vrijwilligheidsverklaring, na over aard en inhoud van de metingen geïnformeerd te zijn.

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

	Leeftijd (jaren)	Lichaams- gewicht (kg)	Lengte (cm)	Ervaring plantsoenmaaien (jaren)	Arbeid met motormaaier ¹ (weken / jaar)	Arbeid met motormaaier ² (uren / week)
Gemiddelde	41	97	193	5	24	42
Minimum	25	83	190	2	3	40
Maximum	55	115	196	6	35	45

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

2.2 Machines

Een vertegenwoordiger van Fedecom, de branchevereniging voor bedrijven in de landbouwtechniek, veehouderijtechniek, groente-techniek, tuinbouwtechniek en intern transport, heeft de leveranciers van de meest toegepaste zelfrijdende motormaaiers in de plantsoendienst benaderd. De leveranciers stemden in nadat ze over het doel en de inhoud van het onderzoek waren ingelicht en stelden de machines beschikbaar.

Het onderzoek is uitgevoerd met drie maaimachines, alle voorzien van drie maaidekken met roterende messen. In tabel 2 zijn de belangrijkste technische specificaties van de maaimachines vermeld. Foto's van de machines zijn afgebeeld in bijlage B.

Tabel 2: Kenmerken van de zelfrijdende cirkelmaaiers betrokken in de metingen

Voertuig	Fabrikant, type	Bouwjaar	Massa (kg) wielbasis (m)	Vermogen (kW) Maaihoogte (m)	Bandentype, merk, maatvoering ¹ en bandenspanning	Stoeltype en -demping ²
1	Toro 4010 D Grounds-master	2013	2107 kg 1.40 m	35 kW 0.64 m	Tubeless v: Kenda Turf 505 26x12.00-12 NHS, 190 kPa a: Kenda Super Turf 20x10.00-10, 190 kPa	Grammer MSG95G/731 Z: p,h X, Y: -
2	Ransomes HR 6010	2010	1350 kg 1.40 m	45 kW 0.63 m	Tubeless v: BKT LG-408 24x13.00-12 NHS, 137 kPa a: BKT LG-306 20x10.00-8 NHS, 120 kPa	Grammer MSG95A/731 Z: p,h X: m, Y: -
3	John Deere 1505 S II BM	2012	1480 kg 1.31 m	31Kw 0.65 m	Tubeless v: Trelleborg Soft grip 539 26x12.00-12 8 PR, 150 kPa a: Trelleborg T-539 20x10.00-10 6 PR, 90 kPa	Grammer MSG95A/731 Z: p,h X: m, Y: -

1: v=voorbanden; a=achterbanden; PR = ply rating (hogere waarde = stijver)

2: m=mechanisch; p=pneumatisch; h=handmatig in te stellen op gewicht van de chauffeur;

X,Y,Z: demping aanwezig in richting(en) conform definitie gegeven in ISO 2631-1 (1997)

2.3 Locatie, organisatie en omstandigheden van de metingen

De maaimachines werden voorafgaand aan de meetdag door de leveranciers afgeleverd bij hoveniersbedrijf Van Ginkel Veenendaal B.V. Daar werd tevens een instructie gegeven over de bediening van de machine aan één van de chauffeurs (waarbij tevens de auteur van dit rapport aanwezig was). De chauffeur zorgde voor de overdracht van de instructie naar de andere chauffeurs. De afstelling van de machines (i.c. bandenspanning en maaihoogte) was zoals standaard bij aflevering wordt aangehouden (zie tabel volgende paragraaf). De maaihoogte was vergelijkbaar voor de drie machines.

De meetlocatie betrof vijf plantsoenen in Veenendaal-Noord, onmiddellijk zuidelijk van de rondweg Grote Beer. Voor normaal tempo maaien werden twee velden gebruikt ten noorden van de Vuurvlinderderronde en het oostelijk gedeelte van de Donsvlinderstraat, tot ongeveer de Aardbeivlinderstraat (figuur 1, nummers 1 en 2). Het restant ten noorden van de Donsvlinderstraat (nummer 3) en het plantsoen oostelijk van de Maartvlinderstraat (nummer 4) werden gebruikt voor het maaien in gehaast tempo. Tot slot is het plantsoen ten noorden van de bebouwing aan de Nachtpauwooglaan (nummer 5 in figuur 1) gebruikt voor het maaien in beheerst tempo.



Figuur 1: Weergave van de meetlocatie. Op de plattegrond (verkregen via Google Maps) zijn aangegeven de startlocatie (rode pijl), aan- en afrijroute (gele pijl) en de vijf plantsoenvelden waar gemeten is. Velden 1+2: normaal tempo; velden 3+4: gehaast tempo; veld 5: bebeerst tempo.

Start- en/of eindlocatie voor iedere chauffeur was het bedrijf Van Ginkel Veenendaal B.V. aan de Castor. Steeds werd dezelfde verharde (glad asfalt) route gereden: Castor – Vijgendam – Kleine Beer – Prins Bernhardlaan – Stationsstraat – Grote Beer – Nachtpauwooglaan of Dagpauwooglaan, in genoemde of omgekeerde volgorde voor respectievelijk aan- en afrijden. Zie figuur 1 voor een grafische weergave van meetlocatie en route.

De eerste chauffeur van een meetdag reed eerst de verharde route naar de plantsoenen, en maaide daarna in plantsoenvolgorde 1 → 5. De tweede chauffeur maaide in omgekeerde volgorde en reed daarna de verharde route terug. De derde chauffeur reed zowel heen als terug en maaide in volgorde zoals bij de eerste

chauffeur aangegeven. In de aan- en afrijdroute bevonden zich een verkeersplateau en een verkeersdrempel. Deze route was ongeveer 1.5 km lang. Binnen en tussen de plantsoenen werden korte stukjes over verharde ondergrond (klinkers, glad asfalt) gereden.

Opbouw van de meetapparatuur op de machines werd steeds gedaan op de morgen onmiddellijk voorafgaand aan de metingen. De meetapparatuur werd steeds op de dag voorafgaand aan de metingen geïjkt (zie 2.5). Trillingsmetingen begonnen met een meting van ongeveer 1 minuut aan iedere chauffeur stil zittend op een stationair draaiende machine. De meting van het aan- of afrijden (enkelvoudige rijtijd) bedroeg gemiddeld 6.3 minuten (variatie: 5.2 - 8.3 minuten). De tijden van de metingen tijdens het maaien van de plantsoenen in normaal tempo varieerde tussen 22.1 en 35.7 minuten (gemiddeld: 24.8 minuten). Voor het maaien in gehaast en rustig tempo was dit respectievelijk 10.6 – 13.0 (gemiddeld: 11.7) minuten en 14.2 – 24.2 (gemiddeld: 18.9) minuten.

Machine 1 werd op 18 juni 2013 getest. De omstandigheden op de meetdag zelf waren droog warm: de temperatuur varieerde tussen 24 en 32 °C. De 7 dagen voor de meting is 4.4 mm neerslag gevallen (KNMI, 2013; bij benadering is de hoeveelheid voor meetpunt Deelen genomen), waarvan 0.9 mm in de drie dagen onmiddellijk voorafgaand aan de meting. De omstandigheden voor de test van machine 2 (27 juni 2013) waren beduidend koeler en natter: op de dag zelf viel 3.9 mm regen en de temperatuur was 12-15 °C. De week ervoor viel in totaal 18.1 mm, waarvan 4 mm in de drie dagen onmiddellijk voor de meting. Het droogst was de meting van machine 3 (9 juli 2013), waarbij de dag zelf droog bleef (temperatuur tussen 19 en 26

°C) en ook de drie dagen onmiddellijk voor de meting. De week voor de meting viel in totaal 6.6 mm regen.

2.4 Normale werkdagpatronen in de praktijk

Om een beeld te krijgen hoe lang een werknemer in de praktijk daadwerkelijk op een maaimachine rijdt is een dagboekje verspreid. Dit is gedaan door de werknemersorganisaties FNV Bondgenoten en CNV Vakmensen onder meerdere aangesloten werknemers. Een dagboekje hield in dat de werknemer iedere keer dat hij van activiteit wisselde het tijdstip in het dagboekje noteerde. De volgende activiteiten werden onderscheiden, verdeeld in twee hoofdgroepen, te weten (A) zittend op de maaimachine en (B) niet op de maaimachine zittend: A1 Aan- en afrijden over de verharde weg, A2 Maaien zelf, A3 Rijden over verharde weg tussen twee plantsoenen, A4 Anders, B1 Maaien voorbereiden, B2 Klein onderhoud plegen, B3 Transport van de maaimachine met auto of bus, B4 In- en uitladen van de maaimachine bij transport, B5 Pauze, B6 Anders. De categorie A4 was bijvoorbeeld zitten op een stationair draaiende machine.

In totaal werden van 13 chauffeurs één of meer dagboekjes terug ontvangen. Zes chauffeurs bleken zodanig onnauwkeurig te hebben ingevuld dat deze data niet zijn meegenomen in de analyse. De overige 7 chauffeurs rapporteerden in totaal 12 complete werkdagen in detail. Twee chauffeurs rapporteerden twee, één chauffeur rapporteerde vier werkdagen. Een middeling over de tijden per activiteit voor deze chauffeurs is gemaakt alvorens de data werden gemiddeld voor de gehele groep.



Figuur 2: Visuele illustratie van de trillingsrichtingen X, Y en Z.

2.5 Meetinstrumenten en -procedure

Procedures voor het doen van metingen van de trillingsblootstelling zijn gestandaardiseerd en beschreven in ISO-richtlijnen. Voor de huidige metingen zijn de richtlijnen NEN-ISO-2631-1 (1997; lichaamstrillingen - algemeen), NEN-ISO-2631-5 (2004; lichaamstrillingen - schokken) en ISO-8041 (2005; trillingen - meetapparatuur) gehanteerd. Bij iedere meting werd de trillingsblootstelling gemeten op de zitting van de stoel. Bovendien werd de

trillingsemissie van de cabinevloer (deze was bij alle machines vast verbonden met het chassis) gemeten, op de plaats van de bevestiging van de stoel. De trillingen zijn gemeten in de voorgeschreven drie richtingen: voor-achterwaarts (X), zijwaarts (Y) en verticaal (Z)¹: zie figuur 2.

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



Figuur 3: Illustratie bij de meting van lichaamstrillingen op de stoel van de maaimachine: de opnemer voor trillingen is op de stoelzitting vastgezet met bouwtape.



Figuur 4: Illustratie bij de meting van trillingen van de stoelbasis van de maaimachine: de opnemer voor trillingen aan de stoelbasis is vastgezet op de plaats van een stoelbout.

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 3), zodanig dat de zitbeenderen van de bestuurder tijdens het rijden midden boven de trillingsopnemer waren gepositioneerd. Trillingen van de stoelbasis werden eveneens in de drie richtingen gemeten met behulp van een B&K opnemer 4321. De opnemer was – elektrisch geïsoleerd – gemonteerd op een 4 mm dikke metalen bevestigingsstrook, welke op de plek van één van de bevestigingsbouten van de stoel aan de stoelbasis werd gefixeerd (zie figuur 4).

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

Voor de bepaling van de exacte rijnsnelheid is voorafgaand aan de metingen een GPS ontvanger (Garmin GPS 60, Olathe, US) op de maaimachine bevestigd. Positiedata werden met een frequentie van 1 Hz opgeslagen en na afloop van een meting overgebracht naar de PC (Mapsource software). Vooraf en op die momenten werd eveneens de klok van de PC gesynchroniseerd met die van de GPS ontvanger.

Eveneens zijn, met het oog op het hebben van informatie over de taakuitvoering tijdens de analyse van de metingen achteraf, continue videoregistraties gemaakt van de taak. Met dit doel is een kleine camera (JVC Action Cam, GC-XA1 BE) aan de achterkant van de cabine bevestigd,

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.

zodanig dat de chauffeur en de ruimte voor en opzij van de maaimachine voortdurend in beeld was. Taakuitvoering tijdens alle metingen werd vastgelegd met 30 frames/s. Tevens werd de start van de trillingsmetingen via het geluidskanaal aangegeven, zodat de trillingsmetingen achteraf konden worden gesynchroniseerd met de videobeelden. Videoanalyse is gedaan met behulp van LongoMatch software (zie <http://www.longomatch.org/>). Naast het starten en stoppen van de meting zelf werden in de analyse het starten en stoppen van de motor, de start- en stopmomenten van het rijden en maaien zelf, stilstand, verplaatsing over verharde paden, passeren van drempels, stoepranden en andere oneffenheden aangegeven, alsmede onverwachte gebeurtenissen als stoten tegen vaste voorwerpen of bomen. De videoregistratie maakte het tevens mogelijk aan te geven op welke momenten de chauffeur geen contact had met de stoelzitting. Deze tijdsegmenten en momenten van stilstand die geen verband hielden met de taak (zoals een stop om het juist functioneren van de meetapparatuur te controleren) zijn buiten de analyse van de meetdata gehouden.

2.6 Dataverwerking

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

Vervolgens werd over ieder tijdsegment, gegeven het bepaalde begin- en eindpunt, van ieder gemeten trillingssignaal softwarematig een frequentie-gewogen signaal berekend, volgens ISO-richtlijnen 2631-1 (1997) en uitgevoerd met behulp van Matlab. Bij de frequentieweging is tevens een ISO-2631-1 (1997) voorgeschreven vermenigvuldiging met factor k uitgevoerd voor zowel de lichaamstrillingen als die gemeten aan de stoelbasis: $k=1.4$ voor trillingen in de X- en Y-richting, $k=1.0$ voor trillingen in de Z-richting². Vervolgens is van ieder frequentie-gewogen en gecorrigeerd signaal een zogenoemd “running RMS” $a_w(t_0)$ berekend. In onderstaande formule 1 is de berekenwijze weergegeven (met t_0 het moment van observeren):

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

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

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

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

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

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

Lidstaten van de Europese Unie mogen op grond van de richtlijn (EU, 2002) bij de beoordeling van lichaamstrillingen in plaats van de bovengenoemde RMS waarde ook de dosismaat VDV (vibration dose value, ofwel trillingsdosis waarde, in $m/s^{1.75}$) toepassen. De VDV wordt (en is in dit rapport) als volgt berekend:

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

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

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

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

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

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

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

De dagelijkse versnellingsdosis D_{kd} wordt vervolgens berekend door de volgens formule 5 bepaalde D_k te schalen naar de normale dagelijkse blootstellingstijd,

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

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

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

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

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

In de ISO richtlijn wordt aangegeven dat bij een dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) de kans op rugschade laag is indien de S_{ed} onder 0.5 MPa blijft. Een hoge kans ontstaat bij een S_{ed} boven 0.8 MPa. Bij een lager aantal blootstellingsdagen worden deze waarden gecorrigeerd en komen de grenzen hoger te liggen: zie de tabel 3 hieronder. Voor de beoordeling aan schokken is in huidige onderzoek uitgegaan van een blootstelling gedurende 120 dagen per jaar, vanwege de seizoensgebonden aard van het werk.

Tabel 3: Grenzen voor de dagelijkse statische compressie dosis S_{ed} bij een variabel aantal dagen blootstelling aan schokken per jaar door de verrichte werkzaamheden. De getallen zijn gegeven op basis van ISO-2631-5 (2004). S_{ed} in MPa. De vermenigvuldigingsfactor is de factor waarmee de S_{ed} -grenswaarden van een volledig jaar blootstelling (240 dagen) moeten worden vermenigvuldigd.

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

Tot slot: ISO beveelt aan in de rapportages van metingen tevens melding te maken van de frequentiespectra van de metingen. Enkele voorbeelden van ruwe dataseries van ongewogen trillingsmetingen aan de stoelbasis en stoelzitting en de bijbehorende frequentiespectra zijn weergegeven in de bijlagen C-E. Let wel dat het rijden tijdens de getoonde metingen met een variabele rijsnelheid gebeurde.

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

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

a_w	De <u>trillingsblootstelling</u> wordt uitgedrukt in de variabele a_w , met als eenheid m/s^2 , en is de gewogen RMS versnelling over de meetperiode. Voor de beoordeling van de trillingsblootstelling wordt de hoogste waarde van de drie gemeten assen gebruikt. De wetgever geeft aan dat bij een waarde $\geq 0.5 m/s^2$ over een 8-urige werkdag maatregelen moeten volgen. De weging is frequentieafhankelijk, en door ISO gedefinieerd.
Crest	De Crest-factor is de absolute waarde van de hoogste instantane piek in de trillingsblootstelling, gedeeld door de RMS trillingswaarde over de meetperiode. ISO-2631-1 (1997) geeft aan dat voor waarden >9 <u>schokbelasting</u> een rol speelt en uitsluitend een evaluatie op grond van de a_w mogelijk niet voldoende is.
SEAT	Seat Effective Amplitude Transmissibility, ofwel de gewogen RMS trillingswaarde gemeten op de stoel als percentage van die van het chassis gemeten aan de stoelbasis. Het is een <u>maat voor de effectiviteit van de stoeldemping</u> . Een waarde 100% geeft aan dat de stoel de trillingen gewoon doorgeeft. Bij een waarde van 60% treedt er een aanzienlijke demping op, namelijk 40%.
VDV	Vibration Dose Value, ofwel <u>trillingsblootstelling</u> berekend als vierde macht van de gemeten versnelling over de meetperiode. De VDV is meer gevoelig voor pieken in de blootstelling en heeft als eenheid $m/s^{1.75}$. De EU landen hebben de keuze de gezondheidkundige grenzen uit te drukken als a_w of als VDV. Voor de VDV geldt als actiewaarde $9.1 m/s^{1.75}$ en als grenswaarde $21 m/s^{1.75}$.
D	Versnellingsdosis volgens ISO-2631-5 (2004) in m/s^2 . Het is een hulpmiddel bij de evaluatie van kans op gezondheidsschade door schokken.
S_{ed}	Equivalent van de dagelijkse statische compressie dosis volgens ISO-2631-5 (2004), in MPa, als <u>hulpmiddel bij het beoordelen van schokken</u> . Bij een dagelijkse blootstelling gedurende het gehele jaar (i.e. 240 dagen / jaar) wordt in deze richtlijn aangegeven dat de kans op rugschade laag is indien de S_{ed} onder 0.5 MPa blijft. Een hoge kans ontstaat bij een S_{ed} boven 0.8 MPa. Voor een kleiner aantal dagen gelden hogere grenzen.
Tijdsduur	Lengte van de meetperiode (in s), na correctie voor de momenten van stilstand, niet verband houdend met de normale taakuitvoering, en van geen contact met de stoelzitting.

2.7 Interpretatie van meetwaarden naar dagelijkse blootstelling

Voor de berekening van de dagelijkse blootstelling schrijft de wet voor dat de trillingsrichting met de hoogste blootstelling de maximale werkduur bepaalt, gegeven een willekeurige werkdag. De dagelijkse blootstelling is berekend voor de situaties normaal rijden, beheerst rijden en gehaast rijden. Onderscheid is gemaakt naar deeltaken waarbij blootstelling aan lichaamstrillingen optrad (i.c. zitten op stationair draaiende machine, aan- en afrijden inclusief drempels, maaien inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond en nemen van drempels en stoepranden, en transport van de maaimachine met auto of bus) en de overige deeltaken (zie paragraaf 2.4) waarvan is aangenomen dat er geen blootstelling optreedt. Voor het zitten op een stationair draaiende machine kwam de blootstelling rechtstreeks uit de metingen. Het transport van de maaimachine met auto of bus is niet in dit onderzoek gemeten. De blootstelling is benaderd uit in

de literatuur gerapporteerde waarden voor rijden over grote wegen met bus of vrachtauto (Nitti & De Santis, 2010; Lewis & Johnson, 2012; Thamsuwan *et al.*, 2013). In de genoemde onderzoeken varieerde deze tussen 0.2 en 0.7 m/s², in de Z-richting meestal wat hoger dan in de beide andere richtingen. In het huidige onderzoek is voor deze blootstelling met een waarde 0.3 m/s² (X, Y) en 0.4 m/s² (Z) gerekend.

Voor de beide andere deeltaken, aan- en afrijden en maaien, zijn bij het bepalen van de blootstelling verschillende onderscheiden taakonderdelen (passeren van drempel, passeren van stoeprand, tussenstop, rijden over verharde weg, maaien zelf; zie paragraaf 2.5) onderscheiden. De totale blootstelling voor de gehele deeltaak is berekend uit de blootstellingen per taakonderdeel volgens

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

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

Vanuit de dagboekjes (zie paragraaf 2.4) is de gemiddelde duur van elke deeltaak berekend: zie tabel 5. Deze tijdsduren werden gecombineerd met de volgens formule 8 berekende blootstellingen van de deeltaken om te komen tot een schatting van de dagelijkse blootstelling volgens

$$a_{wk(eq,dag)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{wki}^2 T_i}{T_d}} \quad (9)$$

met $a_{wk(eq,dag)}$ de dagelijkse blootstelling bij een normale (bijna 9-urige) werkdag, a_{wk} de berekende blootstelling van de deeltaken, T_i de duur van elke deeltaak op grond van de inventarisatie in de praktijk (tabel 5), T_d de totale lengte van een werkdag en k de trillingsrichting X, Y of Z.

2.8 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 “harken” boven en onder de box. Soms ligt een enkele waarde zó ver buiten de groep andere waarnemingen dat deze apart is aangegeven buiten de harken, de zogenoemde “verre waarden”. In de boxplots is door middel van een onderbroken lijn tevens het niveau van actiewaarde voor een achturige werkdag getoond.

Gezien de beperkte omvang van de metingen per taak (3 machines en 3 personen) zijn geen statistische berekeningen op eventuele verschillen uitgevoerd.

3 Resultaten en bespreking

3.1 Duur van een werkdag en deeltaken in de praktijk

Tabel 5: Inventarisatie van de duur (en uitersten) van de verschillende deeltaken van het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende motormaaier in de praktijk. Tijdens de deeltaken A-D vindt blootstelling aan lichaamstrillingen plaats; tijdens deeltaak E is aangenomen dat geen blootstelling optreedt. De getallen, weergegeven als uren:minuten:seconden, zijn verkregen na middeling van de resultaten van 7 chauffeurs, die in totaal 12 werkdagen rapporteerden.

Deeltaak	Duur (u:mm:ss)	Minimum – maximum (u:mm)
A Zittend op stationair draaiende machine	0:03:43	0:00 – 0:26
B Aan- en afrijden over verharde weg (incl. drempels)	1:09:17	0:09 – 2:17
C Maaien van plantsoenen (incl. korte stukjes rijden over verharde weg, drempels en stoepen)	5:36:51	3:53 – 7:16
D Transport van maaimachine met auto of bus	0:41:30	0:00 – 1:24
E Overige taken (voorbereiden, klein onderhoud, slijpen van messen, tanken, in- en uitladen van maaimachine)	1:19:17	0:38 – 2:10
Totale taak maaien plantsoenen (exclusief pauzes):	8:50:39	8:36 – 10:04

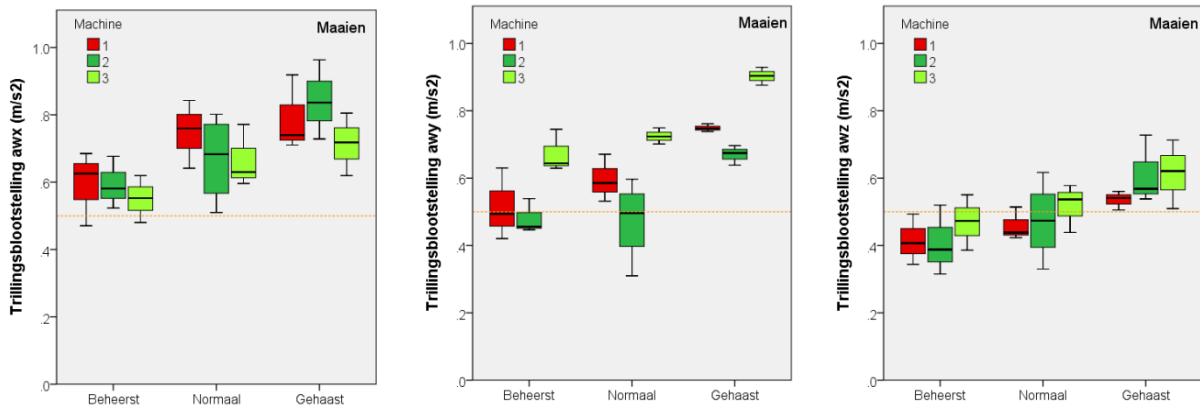
In tabel 5 wordt het resultaat van de inventarisatie van een werkdag van een chauffeur op een zelfrijdende plantsoenmaaier getoond. De totale werkdag bedraagt bijna 9 uur, exclusief pauzes. De belangrijkste activiteit was het maaien zelf (63% van de werktijd), gevolgd door overige taken (15%) en aan- en afrijden over de verharde weg (13%). Het aandeel zitten op een stationair draaiende machine was zeer beperkt (<1%).

De inventarisatie levert duidelijke verschillen op ten opzichte van het eerder verrichte onderzoek van Oude Vrielink (2007^a): niet alleen blijkt het aandeel maaien in de totale werkdag procentueel aanzienlijk lager (destijds geschat op 80% ten opzichte van 63% nu), ook is toen uitgegaan van een 8-urige werkdag, die in de huidige inventarisatie met bijna één uur verlengd is. Beide verschillen hebben een tegengesteld effect op de schatting van de dagelijkse blootstelling. Echter, het aanzienlijk lagere relatieve aandeel van het maaien maakt dat in de huidige schatting met iets minder uren blootstelling op de maaimachine wordt gerekend dan in de eerdere inventarisatie: 6.8 uur nu tegen 7.2 uur in 2007. Daar tegenover staat dat destijds geen rekening gehouden is met transport van de maaimachine met een ander voertuig, welke deeltaak eveneens bijdraagt aan de blootstelling, zij het minder sterk dan het rijden op de maaimachine zelf.

De langer dan 8-urige werkdag is volledig in overeenstemming met de CAO voor het hoveniersbedrijf in Nederland (CAO, 2013), welke een maximale werktijd per werkdag van 9 uur aangeeft. Een dergelijk langere werktijd in de maanden rond de zomerperiode is normaal in de branche en wordt veelal gecompenseerd door kortere werktijden in de winterperiode. Het geeft de ondernemers in de groenvoorzieningen flexibiliteit in het uitvoeren van het werk op grond van de vraag.

3.2 Blootstellingsmetingen

3.2.1 Maaien

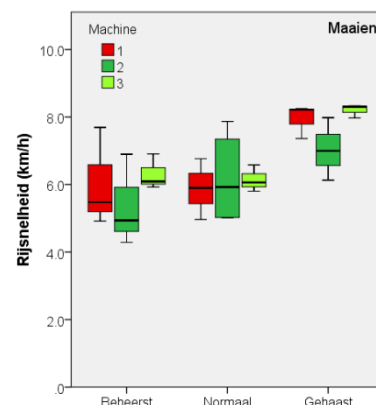


Figuur 5: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x , links), zijwaarts (y , midden) en verticaal (z , rechts) voor het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens beheerst, normaal en gehaast rijden. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. Deze activiteit maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

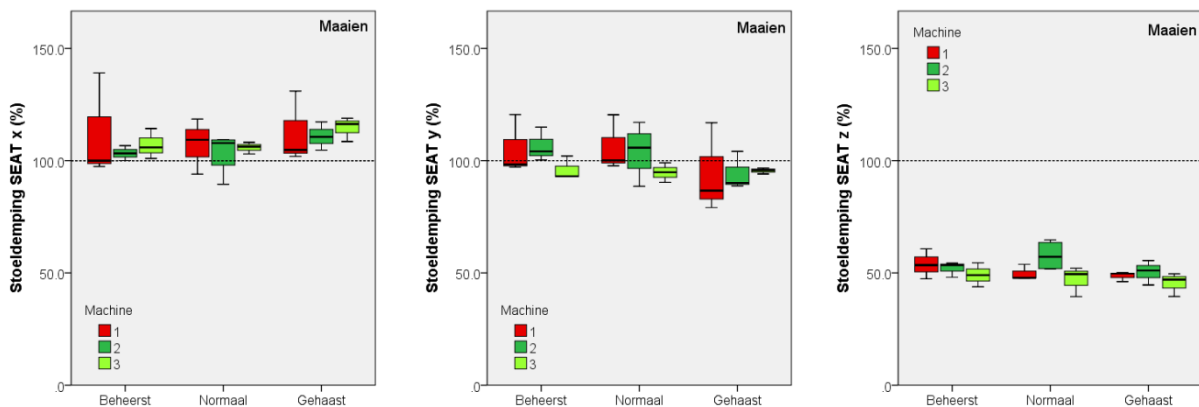
Figuur 5 toont de resultaten van de blootstellingsmetingen voor het maaien zelf. Opvallend is dat voor iedere trillingsrichting X, Y, of Z er een stijgende blootstelling wordt gezien indien het maaien meer gehaast wordt uitgevoerd. Ook valt op dat de verschillen tussen de maaimachines het kleinst zijn in verticale trillingsrichting, en het grootst zijwaarts. Het meest opvallend hierbij zijn de verschillen tussen de machines 2 en 3 zijwaarts en, omgekeerd en kleiner, in voor-achterwaarts richting. De figuur illustreert dat de hoogste trillingswaarden voor alle machines worden gevonden in het horizontale vlak (X en Y). Zelfs bij beheerst rijgedrag komt de blootstelling in voor-achterwaarts richting tijdens het maaien zelf niet onder het niveau van de actiewaarde zoals geldt voor een 8-urige werkdag. Voor een getalsmatige weergave van de trillingswaarden wordt verwezen naar bijlage A.

Het effect van de lagere blootstelling voor alle machines bij beheerst rijgedrag kan niet goed verklaard worden uit een eventueel lagere rijsnelheid: zie figuur 6. De rijsnelheid tijdens beheerst rijden (gemiddeld 5.9 km/h over alle machines) was nauwelijks lager dan tijdens normaal rijgedrag

Figuur 6: Gemiddelde rijsnelheid (in km/uur) tijdens het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens beheerst, normaal en gehaast rijden. Het maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen.



(6.1 km/h). Gehaast rijden resulteerde in een duidelijk verhoogde rijsnelheid 7.7 km/h). De meetresultaten van het huidige onderzoek (mediane waarden voor het maaien tijdens normaal rijgedrag over alle machines en chauffeurs voor X richting (0.69 m/s^2), Y (0.59 m/s^2) en Z (0.47 m/s^2)) blijken ruwweg vergelijkbaar met de waarden eerder gemeten (Oude Vrielink, 2007^a): respectievelijk 0.61 m/s^2 , 0.63 m/s^2 en 0.46 m/s^2 voor X, Y en Z richting. Ook toen werd gereden met een gemiddelde snelheid rond 6 km/h. De conclusie lijkt voor de hand te liggen dat er in de afgelopen jaren in technische zin geen grote veranderingen aan de machines hebben plaatsgevonden. Qua basisconstructie moet worden geconstateerd dat de vier wielen van een moderne zelfrijdende motormaaier zonder dempers direct verbonden zijn met het chassis en de cabinebodem waarop de stoel gemonteerd is. Een verschil is dat alle machines zijn uitgerust met een verbeterde en meer recent ontwikkelde stoel met verticale luchtvering. In voor-achterwaarts richting waren de stoelen van de maaimachines 2 en 3 tevens voorzien van een mechanisch veersysteem. Deze laatste heeft als doel trillingen en schokken in genoemde richting af te zwakken.



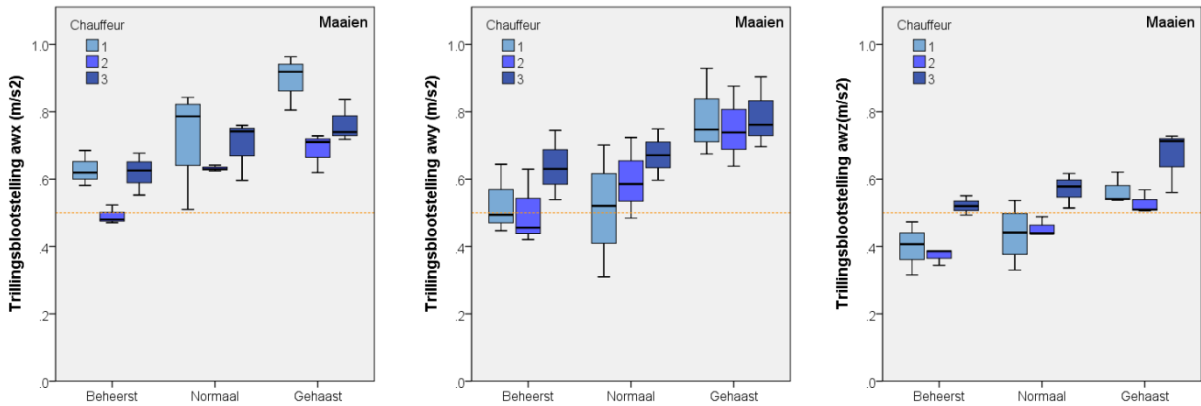
Figuur 7: *Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) voor het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens beheerst, normaal en gehaast rijden. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. De activiteit maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau 100% aan, d.w.z. het niveau waarbij er geen verschil is tussen de trillingen onder en boven de stoel.*

Bovenstaande figuur 7 laat de effectiviteit van de demping van de gemonteerde stoelen zien. Het valt op dat de verschillen tussen de stoelen gering zijn en ook dat het rijgedrag slechts een beperkte invloed heeft op de effectiviteit. Het linker paneel laat geen verschil zien tussen de stoelen met mechanische veer in voor-achterwaarts richting (machines 2 en 3) en die zonder (machine 1) in alle testsituaties. Wel liggen alle SEAT waarden aanzienlijk lager dan weergegeven in het rapport uit 2007. Deze bedroegen destijds 129%, 124% en 74%, respectievelijk voor X, Y en Z richting. Voor normaal rijden zijn deze waarden in het huidige onderzoek respectievelijk 107%, 100% en 52%. Een grotere effectieve demping van de stoel en een netto vergelijkbare blootstelling gemeten op de stoel betekent dat de trillingen van het chassis en de cabinebodem, welke worden overgedragen aan de stoel, in het huidige onderzoek groter zijn geweest dan in het eerder genoemde onderzoek. Omdat de gemiddelde rijsnelheid vergelijkbaar is geweest, is een mogelijke verklaring dat de gemaaide velden in het huidige onderzoek meer ongelijk waren en/of

uit een hardere of stijvere grondsoort bestonden. Dit laatste kan ook ontstaan door uitdroging van de grond (grond wordt meer plastisch bij een groter watergehalte; zie bijvoorbeeld Smedt, 2013). Twee van de huidige metingen (met maaimachine 1 en 3) zijn uitgevoerd in een vrij droge periode (zie paragraaf 2.3). De eerder gerapporteerde metingen zijn uitgevoerd op 19 september 2006. De precieze omstandigheden zijn niet weergegeven in het rapport. Echter, de week voorafgaand aan de metingen viel in totaal bijna 11 mm regen (KNMI, 2013), waarvan 10 mm in de drie dagen onmiddellijk voorafgaand aan de metingen. De meer vochtige ondergrond van destijds ondersteunt de bovenbeschreven redenering. Een andere mogelijke verklaring, misschien in combinatie met het bovenstaande, zou zijn dat in de huidige metingen bij twee van de machines met een hogere bandenspanning is gereden in vergelijking met het eerdere onderzoek. Voor machine 3, echter, was de bandenspanning vergelijkbaar en de blootstellingsmetingen aan deze machine gaven niet het beeld van lagere trillingsniveaus ten opzichte van de andere machines. Ook is in een eerder onderzoek aan landbouwtrekkers uitgebreid getest wat de invloed van bandenspanning op de blootstelling aan lichaamstrillingen op de stoel van de chauffeur is (Oude Vrielink, 2007^b). Er werd geen verschil in blootstelling gemeten over een brede variatie in bandenspanningen tijdens rijden over ongelijk terrein. Let wel: omdat qua constructie en dempende systemen het hier geheel andere voertuigen betreft, moet de interpretatie van laatstgenoemd onderzoek naar plantsoenmaaiers met terughoudendheid gebeuren.

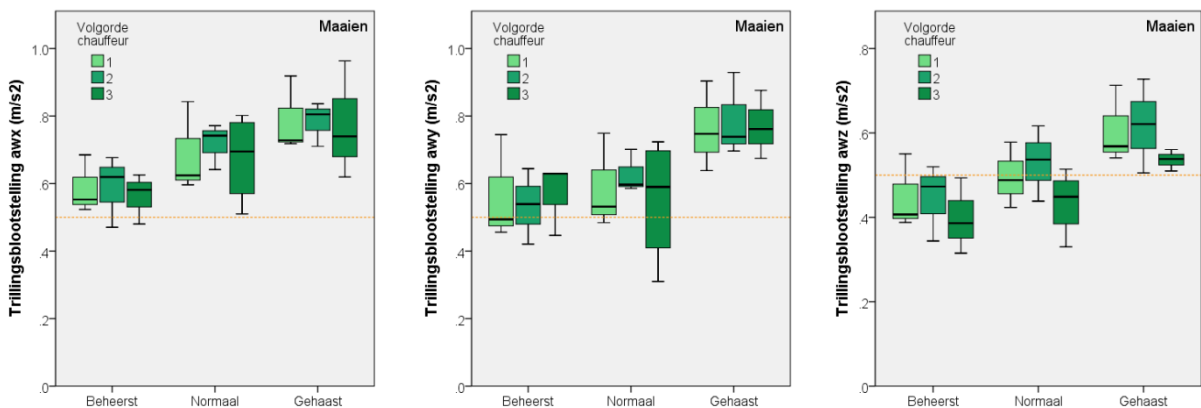
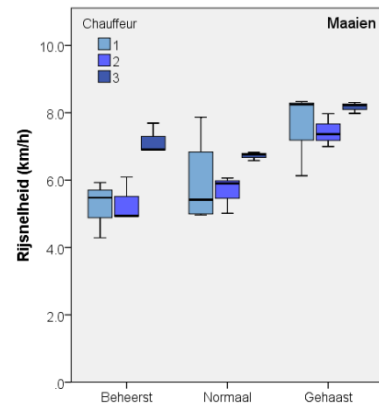
Figuur 8 toont het verschil in blootstelling aan lichaamstrillingen tijdens het maaien tussen de verschillende chauffeurs. De eerder geconstateerde trend van een stijgende blootstelling met meer gehaast rijgedrag gaat op voor iedere individuele chauffeur. Duidelijk is dat één chauffeur vrijwel steeds het laagst scoort in alle trillingsrichtingen. Dit bleek de zwaarste chauffeur. De lichtste chauffeur (chauffeur 1) ervaarde de hoogste blootstelling in voor-achterwaarts richting (linker paneel). Echter, in beide andere trillingsrichtingen bleek dit niet het geval. Met name wordt dit duidelijk in verticale trillingsrichting (rechter paneel). Complicerende factor hierbij is dat de chauffeur met de hoogste blootstellingen tevens sneller reed dan beide andere: zie figuur 9. De mediane rijnsnelheid van deze chauffeur tijdens het beheerst maaien lag zelfs hoger dan tijdens normaal rijgedrag.

Vanuit de literatuur is bekend dat beide factoren, lichaamsgewicht en rijnsnelheid, tegengesteld bijdragen aan de blootstelling aan lichaamstrillingen (bijv. Tiemessen, *et al.*, 2007). Echter, het vormt geen afdoende verklaring voor de verschillen in blootstelling tussen de personen die in figuur 8 worden gezien bij de drie trillingsrichtingen.



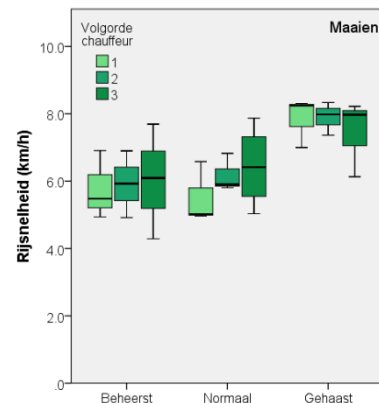
Figuur 8: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x , links), zijwaarts (y , midden) en verticaal (z , rechts) voor het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens bebeerst, normaal en gehaast rijden. Onderscheid is gemaakt naar chauffeurs. Deze activiteit maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

Figuur 9: Gemiddelde rij snelheid (in km/h) tijdens het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens bebeerst, normaal en gehaast rijden. Het maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. Onderscheid is gemaakt naar chauffeurs. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines.



Figuur 10: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x , links), zijwaarts (y , midden) en verticaal (z , rechts) voor het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens bebeerst, normaal en gehaast rijden. Onderscheid is gemaakt naar de volgorde van rijden van de chauffeurs. Deze activiteit maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines, elk bestuurd door een andere chauffeur. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

Figuur 11: *Gemiddelde rij snelheid (in km/uur) tijdens het maaien van plantsoenen met een zelfrijdende maaimachine, tijdens beheerst, normaal en gehaast rijden. Het maaien is inclusief korte stukjes rijden over verharde ondergrond. Onderscheid is gemaakt naar de volgorde van rijden van de chauffeurs. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines, elk bestuurd door een andere chauffeur.*

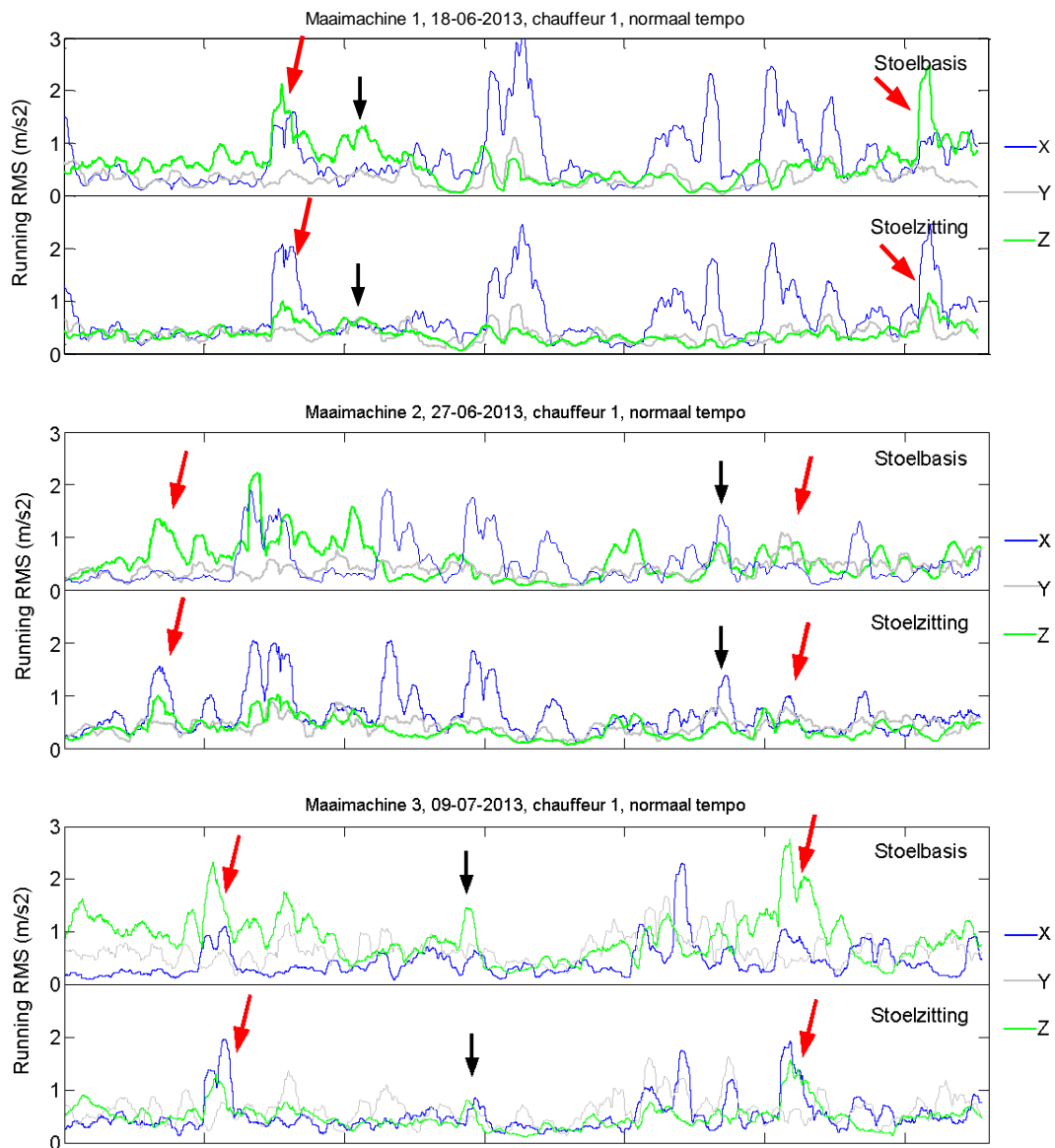


Tot slot is gekeken of de volgorde van rijden van de chauffeurs van invloed was op de blootstelling tijdens het maaien. Figuur 10 laat zien dat er geen effect waar te nemen is voor trillingen in het horizontale vlak. De verticale trillingsblootstelling lijkt voor elke rijinstructie enigszins verlaagd, hoewel de overlap in de spreiding van de metingen groot is. Ook de rij snelheid bleek niet afhankelijk van de volgorde van maaien (figuur 11).

Een opvallend punt bij alle maaimachines bleek dat een sterke verticale trilling van de stoelbasis relatief vaak gevolgd werd door een horizontale voor-achterwaarts versnelling op de stoel. Dit punt wordt geïllustreerd in figuur 12, met voor elke machine een willekeurig gekozen voorbeeld van een stuk maaien in normaal tempo gedurende 70-80 s. Getoond is steeds de zogenaamde running RMS, dit is een berekening van de per datapunt voortschrijdende RMS over een venster van 1 s. Te zien is (rode pijlen) dat sterke verticale trillingen van de stoelbasis (groene grafiek in het bovenste deel van elk paneel) op de stoel duidelijk verzwakt worden (rode pijlen onderste gedeelte), maar dat op (vrijwel) hetzelfde moment de horizontale voor-achterwaarts trilling (blauwe grafieken) duidelijk sterker blijken óp de stoel dan eronder. Voor een juiste vergelijking is de schaal van de trillingen voor stoelbasis en stoelzitting steeds dezelfde gehouden. Dit fenomeen treedt op bij alle gemeten maaimachines en onder alle testcondities. Echter, niet álle verticale trillingen van de stoelbasis hebben dit resultaat, zoals geïllustreerd wordt met de zwarte pijlen. Als een verklaring voor het bovenstaande zou mogelijk het optreden van hoekversnellingen rond de assen kunnen zijn. In figuur 13 wordt dit duidelijk gemaakt. Bij een maaimachine zit de bestuurder relatief ver aan de voorkant van de machine, schuin boven de vooras. Indien tijdens het rijden de achterwielen over ongelijke ondergrond gaan kan dit resulteren in een verticale versnelling van de achterwielen. Daarmee ontstaat er een hoekversnelling rond de vooras. Die hoekversnelling leidt tot een horizontale versnelling van de cabine en stoel, en wel des te groter naarmate de afstand tot de as groter wordt. De zitting van de stoel zou zo te maken kunnen krijgen met een aanzienlijke versnelling in het horizontale vlak.

Of de genoemde redenering het verschijnsel voldoende verklaart zal moeten blijken uit aanvullend onderzoek. In dat geval ligt hier ook een mogelijke oplossing voor de relatief hoge voor-achterwaarts versnellingen. Door het “stuiteren” van de achterwielen te verminderen, dan wel het effect van stuiterende achterwielen te dempen, zouden de hoekversnellingen rond de vooras kunnen worden verminderd. Ook is voorstelbaar dat een andere constructie van de demping in de stoel het genoemde effect beter dan momenteel compenseert. In alle gevallen is

een duidelijke afstemming van maatregelen aan machine en stoel noodzakelijk om te voorkomen dat versterking van de trillingen van machine naar stoel door resonantie gaat optreden.

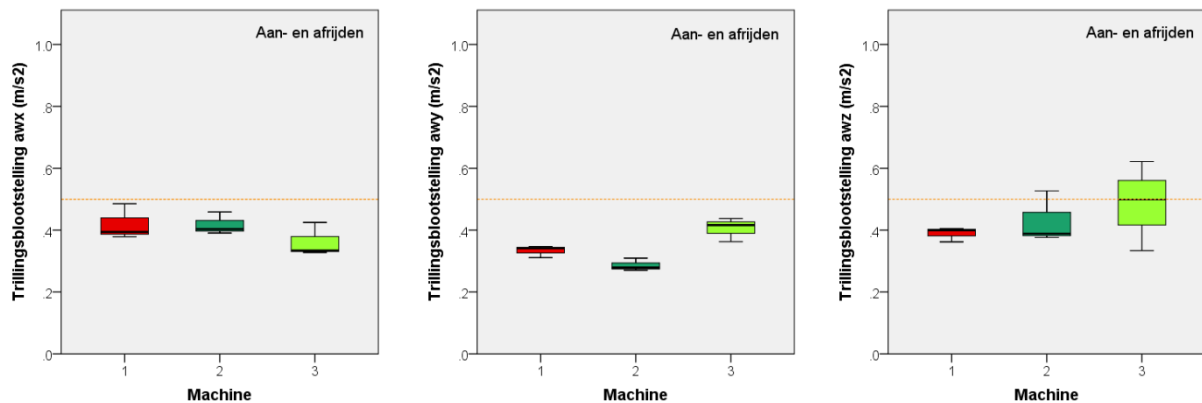


Figuur 12: Running RMS van de genogen versnellingsdata (in m/s^2) in drie richtingen gemeten aan de stoelbasis en op de stoelzitting voor één chauffeur rijdend in normaal maaitempo op drie verschillende machines. De weergegeven data betreft een tijdsperiode van 70-80s. De rode pijlen indiceren een versterkend effect van de verticale trillingen aan de stoelbasis op de voor-achteraarts gerichte trillingen op de stoelzitting. De zwarte pijlen laten zien dat dit fenomeen niet voortdurend optreedt.

Figuur 13: Illustratie ter verklaring van het mogelijk ontstaan van boekeversnellingen rond de vooras door verticale versnellingen van de achterwielen.



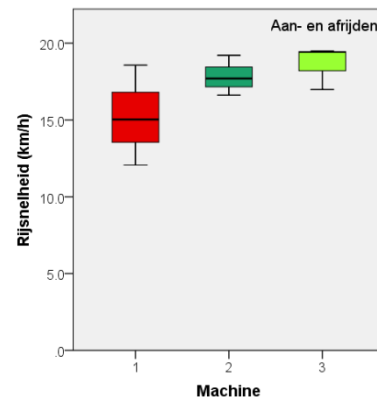
3.2.2 Aan- en afrijden



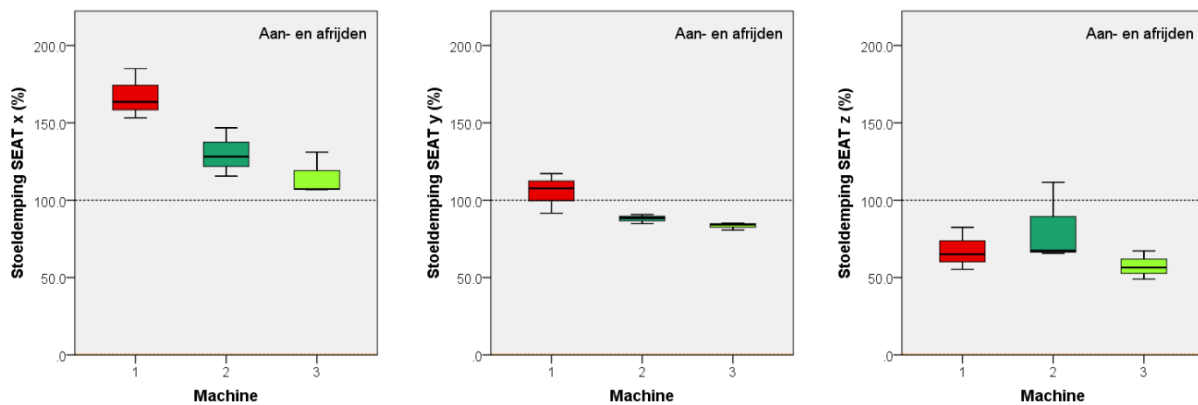
Figuur 14: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) voor het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. Deze activiteit is inclusief het nemen van een verkeersdrempel, een verhoogde kruising en twee stoplichten. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

Het aan- en afrijden naar en van de plantsoenen is uitsluitend getest op de normale rijnsnelheid. Figuur 14 toont de verschillende meetresultaten per machine voor de drie trillingsrichtingen. In slechts incidentele gevallen komt de blootstelling boven de actiewaarde voor een 8-urige werkdag uit. Dezelfde trend in verschillen tussen de machines, zoals geconstateerd tijdens het maaien, is ook waarneembaar tijdens het rijden over de verharde weg: machine 3 lijkt een iets lagere blootstelling op te leveren in voor-achterwaarts richting, echter enigszins hoger in beide andere richtingen. En bij machine 2 is de blootstelling zijwaarts het laagst. De mediane gemiddelde rijnsnelheid over de weg was enigszins verschillend per machine: 15.0 km/h, 17.7 km/h en 19.4 km/h voor respectievelijk machine 1, 2 en 3 (zie figuur 15).

Figuur 15: Gemiddelde rij snelheid (in km/uur) tijdens het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen.

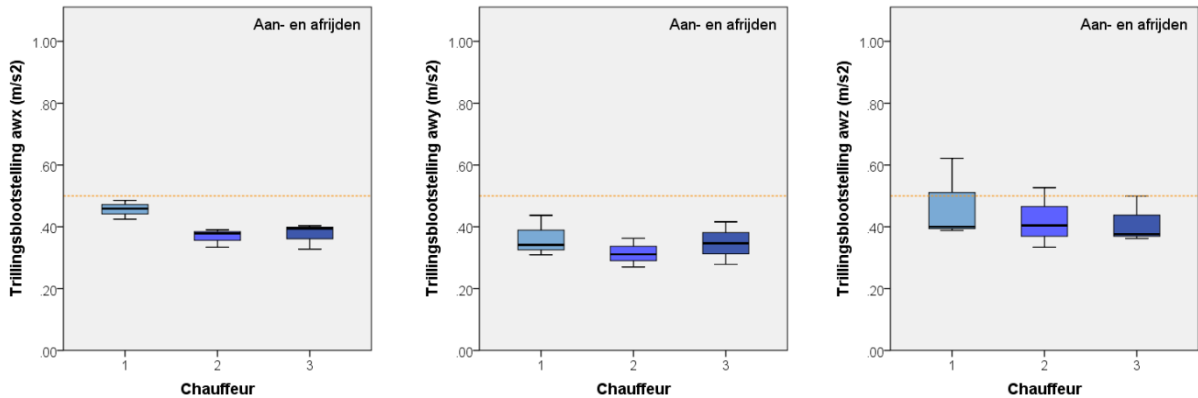


Evenals voor het maaien was de stoeldemping effectief in verticale richting (mediaan 66% over alle machines) en bleken de stoelen vooral in voor-achterwaarts richting de trillingen te versterken (figuur 16). Het verschil in stoeldemping in het horizontale vlak bleek aanzienlijk tussen de machines (met name machine 1 is opvallend: 164% tegen 107% voor machine 3) en ook in vergelijking met de hiervoor besproken deeltaak maaien. De oorzaak is onduidelijk. Aan de ene kant zal de geheel verschillende aard van de rijondergrond een ander frequentiegebied van trillingen veroorzaken van de stoelbasis. Het kan zijn dat de stoel deze trillingsfrequenties minder dempt. Aan de andere kant zou als een mogelijke verklaring voor het grote verschil tussen machine 1 en de beide andere in voor-achterwaarts richting het ontbreken van een dempende veer in die richting in de stoel aangevoerd kunnen worden. Echter, het valt te bezien of deze verklaring steekhoudend is, omdat ook in zijwaartse richting de verschillen aanzienlijk zijn.



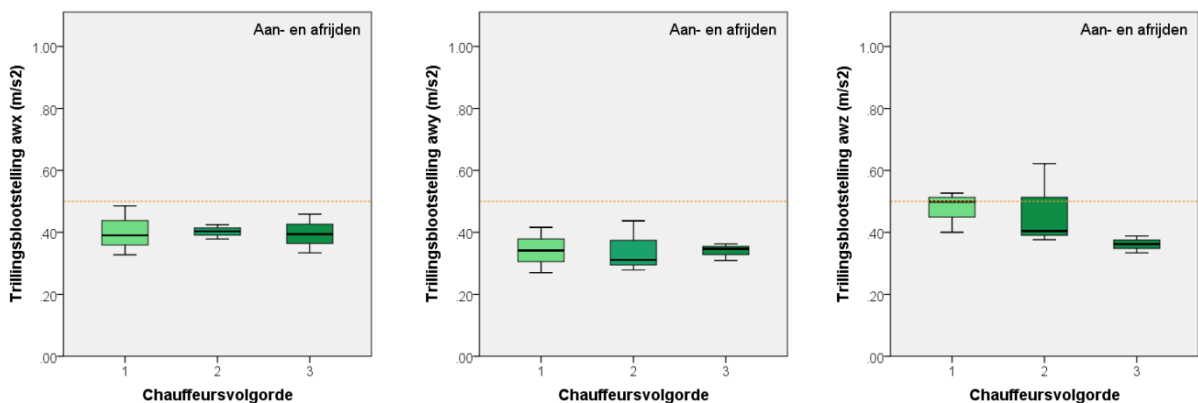
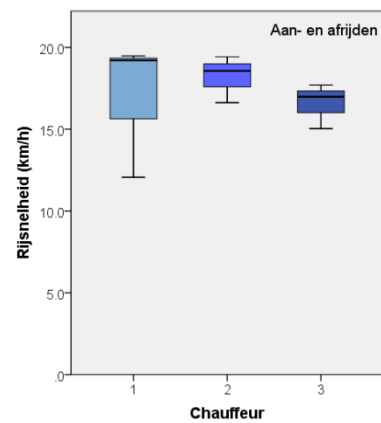
Figuur 16: Seat effective amplitude transmissibility (SEAT in %) in voor-achterwaarts richting (x, links), zijwaarts (y, midden) en verticaal (z, rechts) voor het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine. Onderscheid is gemaakt naar de drie gemeten machines. Deze activiteit is inclusief het nemen van een verkeersdrempel, een verhoogde kruising en twee stoplichten. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie personen. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau 100% aan, d.w.z. het niveau waarbij er geen verschil is tussen de trillingen onder en boven de stoel.

De figuren 17 en 18 laten de verschillen tussen de chauffeurs zien in respectievelijk blootstelling en rij snelheid: de verschillen tussen de chauffeurs blijken klein. Hetzelfde geldt voor de volgorde van rijden van de chauffeurs: zie figuren 119 en 20. De trends in eventuele verschillen, zoals geconstateerd voor de deeltaak maaien en daar beschreven, zijn ook hier zichtbaar.



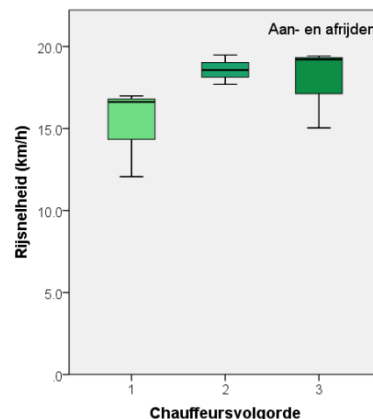
Figuur 17: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x , links), zijwaarts (y , midden) en verticaal (z , rechts) voor het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine per chauffeur. Deze activiteit is inclusief het nemen van een verkeersdrempel, een verhoogde kruising en twee stoplichten. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

Figuur 18: Gemiddelde rijnsnelheid (in km/h) per chauffeur tijdens het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines.



Figuur 19: Blootstelling aan lichaamstrillingen (a_w in m/s^2) in voor-achterwaarts richting (x , links), zijwaarts (y , midden) en verticaal (z , rechts) voor het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaimachine als functie van de volgorde van rijden van de chauffeurs. Deze activiteit is inclusief het nemen van een verkeersdrempel, een verhoogde kruising en twee stoplichten. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines, elk bestuurd door een andere chauffeur. De onderbroken horizontale lijn geeft het niveau van de actiewaarde aan voor een 8-urige werkdag.

Figuur 20: Gemiddelde rij snelheid (in km/uur) tijdens het aan- en afrijden over de verharde weg met een zelfrijdende maaaimachine, weergegeven in volgorde van rijden van de chauffeurs. De weergegeven data zijn een samenvatting van drie machines, elk bestuurd door een andere chauffeur.



3.2.3 Vergelijking met de door de fabrikanten opgegeven trillingswaarden

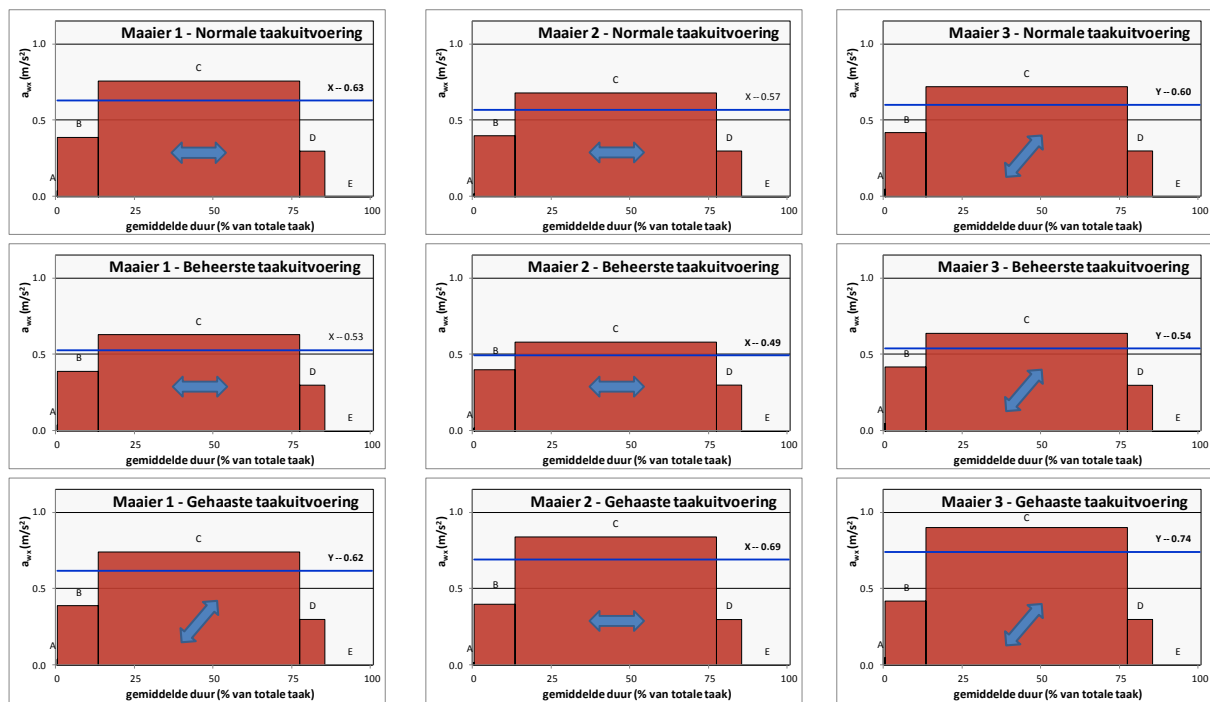
Tabel 6: blootstelling aan lichaamstrillingen a_w (in m/s^2), zijnde de RMS waarde van de hoogste van de drie trillingsrichtingen X, Y en Z, per machine zoals opgegeven door de fabrikant en als resultaat van de huidige metingen voor normaal rijden (met tussen haakjes de dominante trillingsrichting). In deze laatste is alleen het maaien van de plantsoenen zelf opgenomen. Zie ook bijlage A voor een weergave van de meetresultaten van alle deeltaken.

Machine	A_{eq} (m/s^2)	
	Opgave fabrikant	Huidige meting
1	0.29 ¹	0.76 (X)
2	0.54 ²	0.66 (X)
3	<0.5 ¹	0.72 (Y)

¹ bepaald volgens EN 836 (1997), test niet nader omschreven in de handleiding

² bepaald volgens EN 1032 (2004), rechtuit rijdend met 6 km/h over een gemaaid en vlak grasveld met draaiende rotoren

Tabel 6 geeft voor elke machine de door de fabrikant opgegeven waarde van de trillingsblootstelling conform gestandaardiseerde testen EN 836 (1997) en EN 1032 (2003). Daarnaast is de huidige waarde vermeld, gemeten tijdens maaien op normaal tempo. Bij geen van de machines is aangegeven welke trillingsrichting bepalend bleek voor de weergegeven waarde. De normen EN 836 en EN 1032 beschrijven globaal hoe een test moet worden uitgevoerd. EN 1032 geeft een beschrijving van apparatuur en metingen en is conform ISO 2631-1 (1997). Ook geeft deze de vermelding dat de test dient te worden uitgevoerd rijdend over een ondergrond representatief voor het werken in de praktijk. EN 836 verwijst veelvuldig naar de EN 1032 norm. Los van kleine verschillen, o.a. met betrekking tot het lichaamsgewicht van de chauffeur, geeft deze norm (EN 836) aan hoe de test moet worden uitgevoerd: rechtuit rijdend met 6 km/h over een glad en gemaaid grasveld met de maaibalken c.q. -dekken in de laagste stand. Elke run moet tenminste 8 s duren. Aangegeven is dat deze testomstandigheden waarschijnlijk niet overeen



Figuur 21: Schematische weergave van de bijdrage van elke deeltaak (A-E: zie tabel 5) aan de blootstelling a_w (verticale as, in m/s^2) tijdens normale (bovenste rij), beheerste (middenrij) en gehaaste (onderrij) taakuitvoering met maaimachine 1 (links), 2 (midden) en 3 (rechts). Horizontaal is de gesommeerde duur van elke deeltaak, relatief ten opzichte van de totale werkdag, weergegeven. De trillingsblootstelling is afkomstig van de dominante trillingsrichting en is aangegeven met de blauwe pijl (horizontaal voor X, schuin voor Y) en de letter boven de horizontale blauwe lijn. Deze horizontale lijn geeft de waarde van de dagelijkse blootstelling weer, tevens getalsmatig aangeduid met de waarde boven de lijn.

komen met de omstandigheden in de praktijk, en daarom een onderschatting van de trillingsblootstelling zullen opleveren. Dat laatste blijkt inderdaad het geval, zoals uit tabel 6 blijkt. Het geeft aan dat de testwaarden in de handleiding van een maaimachine niet gebruikt kunnen worden om een indruk te krijgen van de blootstelling in de praktijk.

3.3 Dagelijkse werktijden op basis van de metingen

De mediane gemeten blootstellingen per machine en per deeltaak gecombineerd met de duur van elke deeltaak zoals verkregen uit de praktijk door middel van de dagboekjes levert een berekening van de dagelijkse blootstelling op. In figuur 21 is het resultaat daarvan weergegeven voor de trillingsrichting met de hoogste waarde. De dagelijkse werktijd (8.9 uur: zie tabel 5) is op de horizontale as steeds op 100% gesteld; de deeltaken zijn weergegeven met hun relatieve aandeel. Voor het maaien van plantsoenen volgens de normale taakuitvoering kan met geen van de machines een volledige werkdag gewerkt worden. De dagelijkse blootstelling, gemiddeld over de personen, varieerde tussen 0.57 en 0.63 m/s^2 , waarbij de horizontale trillingsrichtingen domineerden. Deze meetwaarden betekenen dat na 5.1 tot 6.2 uur werken (volgens het normale patroon) de actiewaarde bereikt wordt. Indien de taak beheerst wordt uitgevoerd bedraagt de dagblootstelling 0.49 – 0.53 m/s^2 . De actiewaarde wordt bereikt na 6.9 tot 8.3 uur werken.

Gehaaste uitvoering levert aanzienlijk hogere blootstellingen op ($0.62-0.74 \text{ m/s}^2$) en doet de actiewaarde al na 3.7-5.3 uur bereiken.

De schokbelasting S_{ed} zoals bepaald volgens ISO-2631-5 (2004) blijft bij normaal rijden onder 0.6 MPa (zie bijlage 1), en heeft daarmee geen verdere aandacht. Bij gehaast rijden stijgt de S_{ed} voor machine 3 tot 0.61 MPa. Dit betekent dat er in die situatie er een kans bestaat op gezondheidsschade door schokken.

4 Conclusies en aanbevelingen

- De in het huidige onderzoek gemeten blootstellingen aan lichaamstrillingen van chauffeurs van plantsoenmaaiers zijn van vergelijkbare grootte ten opzichte van eerdere metingen gedaan in 2006. Geconcludeerd mag worden dat de basisconstructie van de maaimachines met het oog op trillingsreductie niet wezenlijk is veranderd. De huidige gemonteerde moderne stoelen daarentegen laten een sterk verbeterde demping zien in alle richtingen. Dat ondanks deze laatste bevinding de blootstelling voor de chauffeurs niet is afgenomen kan worden verklaard uit verschillen in terrein en omstandigheden.
- Gegeven de Europese en Nederlandse wetgeving en de huidige onderzoeksresultaten mag een werknemer in de plantsoendienst maximaal 5-6 uur het maaiwerk uitvoeren. In deze tijd is inbegrepen het aan- en afrijden naar de plantsoenen, het transport van de maaimachine met een ander voertuig, en ook de andere handelingen als onderhoud, tanken e.d. waarbij geen blootstelling voorkomt. Dat de maximale werktijd iets hoger ligt dan in het onderzoek uit 2006 komt vooral door een betere schatting van de dagindeling van de chauffeurs.
- Indien de chauffeurs gevraagd wordt het maaiwerk beheerst uit te voeren, wordt een aanzienlijke vermindering van de blootstelling bereikt: de maximale tijd per dag voor het maaien van plantsoenen kan dan verruimd worden naar 7-8 uur. Dit is nog altijd niet voldoende om de gebruikelijke volledige werkdag van bijna 9 uur (exclusief pauzes) te kunnen werken. Wel is gebleken dat het beheerst uitvoeren van de maaitaken nauwelijks ten koste gaat van de rijsnelheid. Het is daarom waarschijnlijk dat het aanleren van meer beheerst rijgedrag geen sterke invloed zal hebben op de taakprestatie, terwijl het effect op de trillingsblootstelling aanzienlijk is. Omgekeerd is laten zien dat gehaast rijgedrag zowel de rijsnelheid als de trillingsblootstelling sterk verhoogt.
- Hoewel er verschillen gevonden worden in de blootstelling tussen de geteste maaimachines, is dit rapport terughoudend in het trekken van conclusies hieruit. De metingen zijn voor alle machines op een zoveel mogelijk vergelijkbare wijze uitgevoerd. Echter, het bleek niet mogelijk alle omstandigheden te beheersen: één machine is gemeten in een koelere periode met meer neerslag. De lagere meetwaarden voor deze machine kunnen zeer wel door deze omstandigheden zijn beïnvloed en verklaard.
- Uit het onderzoek blijkt, in overeenstemming met eerdere metingen, dat de trillingsblootstelling in het horizontale vlak bepalend is voor de maximale dagelijkse werktijd. De eerder om deze reden gegeven aanbeveling om de stoel te voorzien van horizontale demping lijkt het huidige onderzoek niet te ondersteunen: vergelijking van de machines met stoelvering in voor-achterwaarts richting met die zonder gaf geen zichtbaar verschil in de blootstelling aan lichaamstrillingen.
- De in dit onderzoek gemaakte vergelijking van de in de praktijk gemeten blootstellingen met die opgegeven door de fabrikanten, zoals bepaald tijdens een voorgeschreven

gestandaardiseerde test, bevestigt dat de in de handleiding van een maaimachine weergegeven blootstellingswaarden niet gebruikt kunnen worden om een indruk te krijgen van de blootstelling in de praktijk. Zelfs kunnen deze waarden niet goed worden gebruikt om maaimachines onderling te vergelijken, omdat gebleken is uit de huidige test dat de blootstellingen in voor-achterwaarts en zijwaarts richting aanzienlijk kunnen verschillen tussen de machines. Deze verschillen komen niet tot uitdrukking in de huidige voorgeschreven test, waarbij uitsluitend vlak en rechthoekig gereden wordt.

- Het is voor ondernemers in de groenvoorziening noodzakelijk dat de maaimachines trillingstechnisch worden verbeterd. Met name dient hierbij aandacht te worden besteed aan het verminderen van de trillingen in het horizontale vlak. Nadrukkelijk wordt hierbij aanbevolen aandacht te besteden aan de geconstateerde overdracht van verticale cabinetrillingen op de voor-achterwaarts gerichte beweging van de stoel. Onderzoek zal moeten uitwijzen of een duidelijk effect al bereikt kan worden met relatief eenvoudige maatregelen als dempend opgehangen achterwielen of beter dempende banden achter. Let wel dat bij iedere voorgesteld maatregel moet worden nagegaan of niet eventuele ongewenste resonantie-effecten ontstaan door de interactie met de al aanwezige demping in de stoel.

Referenties

- Bovenzi, M. and C. T. J. Hulshof (1999). "An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997)." *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 72: 351-365.
- CAO (2013). Cao voor het hoveniersbedrijf in Nederland, 1 maart 2013 tot en met 31 december 2013. Geraadpleegd en gedownload via Internet: http://www.fnvbondgenoten.nl/site/caos/26952/Hoveniers_cao_2013.pdf op 11 oktober 2013.
- Dupuis, H. (1969). "Zur physiologischen Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen." *Fortschrittberichte VDI-Z (R. 11 , ; Nr. 7)*: 168 pp.
- EU (2002). "Richtlijn 2002/44/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (trillingen) (zestiende bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG) - Gezamenlijke verklaring van het Europees Parlement en de Raad." *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 177 (6.7.2002)*: 13-19.
- Hulshof, C. and B. Veldhuijzen van Zanten (1987). "Whole-body vibration and low-back pain." *International Archives of Occupational and Environmental Health* 59(3): 205-220.
- ISO-2631-1 (1997). *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General Requirements*. Geneva, ISO: 31 pp.
- ISO-2631-5 (2004). *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks*. Geneva, ISO: 20 pp.
- ISO-8041 (2005). *Human response to vibration - measuring instrumentation*. Geneva, ISO: 90 pp.
- KNMI (2013). *Klimatologie – Dagoverzichten van het weer*. Geraadpleegd via Internet: <http://www.knmi.nl/klimatologie/dow/index.html> op 10 oktober 2013.
- Lewis, C. A. and P. W. Johnson (2012). "Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers." *Occupational Medicine* 62(7): 519-524.
- Lings, S. and C. Leboeuf-Yde (2000). "Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999." *International Archives of Occupational and Environmental Health* 73(5): 290-297.
- NEN-EN 836 (1997). *NEN-EN 836:1997+A4:2011 en Tuingereedschap - Aangedreven grasmaaiers – Veiligheid*. NEN, Delft, 90 pp.
- NEN-EN 1032 (2003). *NEN-EN 1032:2003+A1:2009 en Mechanische trillingen - Beproeving van mobiele machines om de trillingsemisiewaarde te bepalen*. NEN, Delft, 32 pp.
- Nitti, R. and P. De Santis (2010). "Assessment and Prediction of Whole-body Vibration Exposure in Transport Truck Drivers." *Industrial Health* 48: 628-637.
- Oude Vrielink, H. H. E. (2007^a). "Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations during work in the green area. Report 2007-04 (in Dutch; English summary)." ErgoLab Research B.V. & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-04, ISBN: 978-90-8585-156-4.: 44 pp. Te downloaden via www.ergolabresearch.eu.

- Oude Vrielink, H. H. E. (2007^b). "Analysis of the exposure to whole-body and hand-arm vibrations using agricultural tractors. Report 2007-02 (in Dutch; English summary)." ErgoLab Research B.V. & Wageningen UR, Bennekom/Wageningen, report 2007-02, ISBN: 978-90-8585-154-7: 75 pp. Te downloaden via www.ergolabresearch.eu.
- Paddan, G. S. and M. J. Griffin (2002). "Evaluation of whole-body vibration in vehicles." *Journal of Sound and Vibration* 253(1): 195-213.
- Reiher, H. and F. J. Meister (1931). "Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Erschütterungen." *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens* 2(11): 381-386.
- Smedt, F. de, 2013. *Gondmechanica*. Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde, Faculteit Ingenieurswetenschappen, Vrije Universiteit Brussel. 160 pp.
- Staatsblad (2005). "Besluit van 5 juli 2005 tot wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit (voorschriften inzake veiligheid en gezondheid met betrekking tot blootstelling van werknemers aan risico's van fysische agentia (mechanische trillingen))." *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden* 372: 1-18.
- Stigas, 2008. *Trillingen in de agrarische en groene sector*. Document 150990, versie 29/7/2008, 4 pp. Internetpagina: <http://www.stigas.nl/media/downloads/150990-trillingen-in-de-agrarische-en-groene-sector.pdf>. Geraadpleegd: 9 november 2012.
- Tiemessen, I. J., C. T. J. Hulshof, et al. (2007). "An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: A systematic review." *International Journal of Industrial Ergonomics* 37(3): 245-256.
- Tiemessen, I. J. H., C. T. J. Hulshof, et al. (2008^a). "Two way assessment of other physical work demands while measuring the whole body vibration magnitude." *Journal of Sound and Vibration* 310(4-5): 1080-1092.
- Tiemessen, I. J. H., C. T. J. Hulshof, et al. (2008^b). "Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern." *Occupational and Environmental Medicine* 65(10): 667-675.
- Thamsuwan, O., R. P. Blood, et al. (2013). "Whole body vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low-floor city bus." *International Journal of Industrial Ergonomics* 43(1): 9-17.
- Waters, T., C. Rauche, et al. (2007). "A new framework for evaluating potential risk of back disorders due to whole body vibration and repeated mechanical shock." *Ergonomics* 50(3): 379-395.

Summary

This report, which is an update of an investigation performed seven years ago, presents the results of measurements of the exposure to whole-body vibrations of drivers of self-propelled mowing machines. The research was commissioned by the Dutch sector organization VHG as well as the Dutch employees' organizations FNV Bondgenoten en CNV Vakmensen. The current advice to restrict the daily working time on mowing machines, as formulated in the Health & Safety Catalogue for the branch on basis of the earlier measurements and the current legislation, hampers an efficient planning and execution of the work in practice for many employers. The aim of the research was to determine whether technical developments of the mowing machines at present are such that employees are exposed to lower levels of whole-body vibrations and, hence, that their maximal daily working time can be extended.

The research is performed in practice with help of three volunteering professional drivers, all being employees of a landscaping company in Veenendaal, The Netherlands. Three suppliers of self-propelled mowing machines most frequently used in The Netherlands (Toro, Ransomes, John Deere), voluntarily provided a most recent version of one of their machines. All mowing machines were in the same range with respect to motor power and dimensions, and had three decks of rotating blades. Each machine was tested by all drivers on a separate day at an interval of 2-3 weeks on the same set of five public garden plots. In addition, sitting on a stationary running machine and driving to and between the public gardens over asphalt roads were measured. Each driver was asked to mow part of the plots at their normal speed. Further, other parts were mown 'hasty', so simulating as if the driver was given insufficient time for the task. Finally, one plot was mown 'restrained', simulating the driver had been given too much time for the task. The measurements were performed in full accordance with the ISO-2631-1: 1997 guideline on the chair and at the chair base in the three directions X (for-aft), Y (sideward), and Z (vertical), sampled at 4096 Hz, and stored on a portable computer. Data analysis was done off-line with help of continuously and simultaneously measured driving speed (using GPS) and video registrations (action cam mounted on the driver cabin). Chair damping was expressed as so-called SEAT value. To obtain an accurate estimation of the normal daily exposure time, several professional drivers of self-propelled mowing machines in The Netherlands were asked to keep a diary for one or more working days, in which they noted their activities at minute level. A total of 13 drivers responded. The data from 7 drivers were accurate enough to be used; they noted a total of 12 working days.

For the three machines tested, whole-body vibrations measured on the chair during mowing varied between 0.63 and 0.76 m/s^2 (X; median: 0.69 m/s^2), 0.48 and 0.72 m/s^2 (Y; median: 0.59 m/s^2), and 0.44 and 0.54 m/s^2 (Z; median: 0.47 m/s^2) during normal mowing speed (values given are medians over drivers). The average driving speed was 6.1 km/h. In all cases, vibrations in the horizontal plane (X or Y) were highest and restricted the maximal daily working time. Exposure during driving over asphalt roads to and from the public gardens were 0.33 - 0.40 m/s^2 (X; median: 0.39 m/s^2), 0.28 - 0.42 m/s^2 (Y; median: 0.34 m/s^2), and 0.39 - 0.50 m/s^2 (Z; median: 0.40 m/s^2) for the three machines.

Restrained driving considerably reduced the exposure to whole-body vibration: median values over drivers and machines were 0.58 m/s^2 (X), 0.49 m/s^2 (Y) and 0.41 m/s^2 (Z). The average driving speed (5.9 km/h) was hardly reduced compared to mowing at normal speed. Hasty mowing increased both average driving speed (7.7 km/h) and exposure (0.74 m/s^2 for X as being the median value over drivers and machines, 0.75 m/s^2 for Y and 0.57 m/s^2 for Z).

Chair damping appeared independent of driving behaviour. SEAT values were 107%, 100% and 52%, medians for X, Y and Z, respectively. These values imply that vibrations of the cabin floor are effectively damped by the seat in only the vertical direction. Compared to the research performed 7 years ago, the seats seem to be more effective in their damping in all directions.

From the survey of working activities of drivers of mowing machines, it appeared that the total daily working time is almost 9 hours, excluding pauses. The relative part of mowing itself was 63%. For driving over paved roads to and from public gardens and for transport of the mowing machine with help of car or bus, this was 13% and 8%, respectively. During 15% of the working day, tasks were performed during which no exposure to whole-body vibrations occurred (such as refuelling or maintenance).

When combining the exposure values measured with the outcomes of the normal daily working pattern, it appears that for all machines tested exposure to whole-body vibrations for a full normal working day exceeds the action value, defined as health limit in the Dutch and European legislation. When mowing in normal pace, the action value will be reached after 5-6 hours of work, given the division of tasks of a normal working day. If mowing in a restrained way, the action value will be reached after 7-8 hours of work.

To be able to use the self-propelled mowing machines for a full working day, it is necessary that technical improvements are implemented to reduce vibration exposure. In particular, attention should be paid to reduction of vibrations in the horizontal plane. Whether solely the application of horizontal damping systems in the chair itself will be enough remains to be shown: in the present research, no effect was seen from the presence of a for-aft vibration damping system in the chair.

Another point of attention may be the following: in the present research, it was seen that vertical accelerations of the cabin floor resulted in amplification of the horizontal accelerations of the chair. It is worth investigating whether effective damping of the rear wheels or tires will diminish this phenomenon, which is possibly related to tangential accelerations around the front axle. Note that eventually unwanted resonance effects because of damping systems already present in the chair should be avoided.

Bijlagen

A: meetwaarden van de blootstellingen bij de onderscheiden taken

Gebruikte symbolen:

- reference axis : richting van de trillingsmeting
- t_m : totale meettijd in s
- average speed : gemiddelde rijnsnelheid in km / uur
- 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

Onderscheid is gemaakt naar normaal, beheerst en gehaast rijden.

1. Sitting on a standing machine, motor running stationary

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1	208	0	8	0.040	0.12	0.39	0.01			
y					0.030	0.15	0.28				
z					0.030	0.14	0.18				
x	2	157	0	4	0.020	0.07	0.15	0.01			
y					0.030	0.13	0.19				
z					0.040	0.16	0.17				
x	3	172	0	5	0.060	0.14	0.19	0.02			
y					0.050	0.17	0.23				
z					0.060	0.18	0.21				

2. Distance driving over public asphalt roads

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1	1724	15.0	3	0.390	3.03	6.07	0.20			
y					0.340	3.27	5.57				
z					0.400	2.53	2.58				
x	2	1419	17.7	3	0.400	2.90	5.45	0.16			
y					0.280	2.23	4.64				
z					0.390	2.82	2.93				
x	3	1401	19.4	3	0.330	2.80	3.84	0.21			
y					0.420	3.08	5.85				
z					0.500	3.39	4.27				

3. RESTRAINED PERFORMANCE: mowing of fields, including short distances of driving over pathed roads when moving from field to field.

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1	3464	5.5	3	0.630	5.10	7.82	0.23			
y					0.490	4.55	6.52				
z					0.410	3.46	3.76				
x	2	3372	4.9	3	0.580	5.36	7.51	0.22			
y					0.460	4.26	6.37				
z					0.390	3.93	4.85				
x	3	3341	6.1	3	0.550	4.85	6.57	0.31			
y					0.640	5.51	8.72				
z					0.470	4.12	5.09				

3. RESTRAINED PERFORMANCE: total task, based on the time spent in practice (see table 5, A-C).

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1				0.520				32040	11.14	0.38
y					0.408					9.57	
z					0.356					7.26	
x	2				0.490				32040	11.56	0.37
y					0.378					8.44	
z					0.364					8.25	
x	3				0.453				32040	10.21	0.51
y					0.533					11.55	
z					0.435					9.36	

NOTE: calculations are based on the present measurements only. Hence, transportation of the mowing machine with another vehicle and other tasks (table 5, D and E) are assumed not to have contributed to the exposure.

3. NORMAL PERFORMANCE: mowing of fields, including short distances of driving over pathed roads when moving from field to field.

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1	4826	5.9	3	0.760	7.29	10.25	0.28			
y					0.590	5.85	7.90				
z					0.440	4.39	4.67				
x	2	5235	6.5	4	0.660	6.66	9.47	0.27			
y					0.480	4.87	6.69				
z					0.490	5.47	7.80				
x	3	4819	6.1	3	0.630	6.33	8.06	0.36			
y					0.720	6.83	10.13				
z					0.540	5.22	6.59				

3. NORMAL PERFORMANCE: total task, based on the time spent in practice (see table 5, A-C).

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1				0.482				32040	14.15	0.42
y					0.378					8.19	
z											
x	2				0.550				32040	11.78	0.40
y					0.394					8.64	
z					0.434					9.94	
x	3				0.515				32040	11.46	0.53
y					0.587					12.86	
z					0.484					10.70	

NOTE: calculations are based on the present measurements only. Hence, transportation of the mowing machine with another vehicle and other tasks (table 5, D and E) are assumed not to have contributed to the exposure.

3. HASTY PERFORMANCE: mowing of fields, including short distances of driving over pathed roads when moving from field to field.

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1	2151	8.2	3	0.740	5.96	9.68	0.26			
y					0.750	5.55	7.27				
z					0.540	3.89	4.56				
x	2	2098	7.0	3	0.840	6.71	9.79	0.25			
y					0.670	4.89	7.00				
z					0.570	4.76	5.65				
x	3	2067	8.3	3	0.720	5.43	7.94	0.34			
y					0.900	6.93	9.64				
z					0.620	4.64	5.76				

3. HASTY PERFORMANCE: total task, based on the time spent in practice (see table 5, A-C).

reference axis	mowing machine	t_m (s)	average speed (km/h)	meas. (n)	a_w (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)
x	1				0.605				32040	14.03	0.46
y					0.608					12.94	
z					0.453					8.91	
x	2				0.683				32040	15.33	0.44
y					0.544					11.62	
z					0.491					11.29	
x	3				0.584				32040	12.94	0.61
y					0.731					15.68	
z					0.541					11.28	

NOTE: calculations are based on the present measurements only. Hence, transportation of the mowing machine with another vehicle and other tasks (table 5, D and E) are assumed not to have contributed to the exposure.

B: fotogalerij van de gemeten cirkelmaaiers



1. Toro 4010 D Groundsmaster

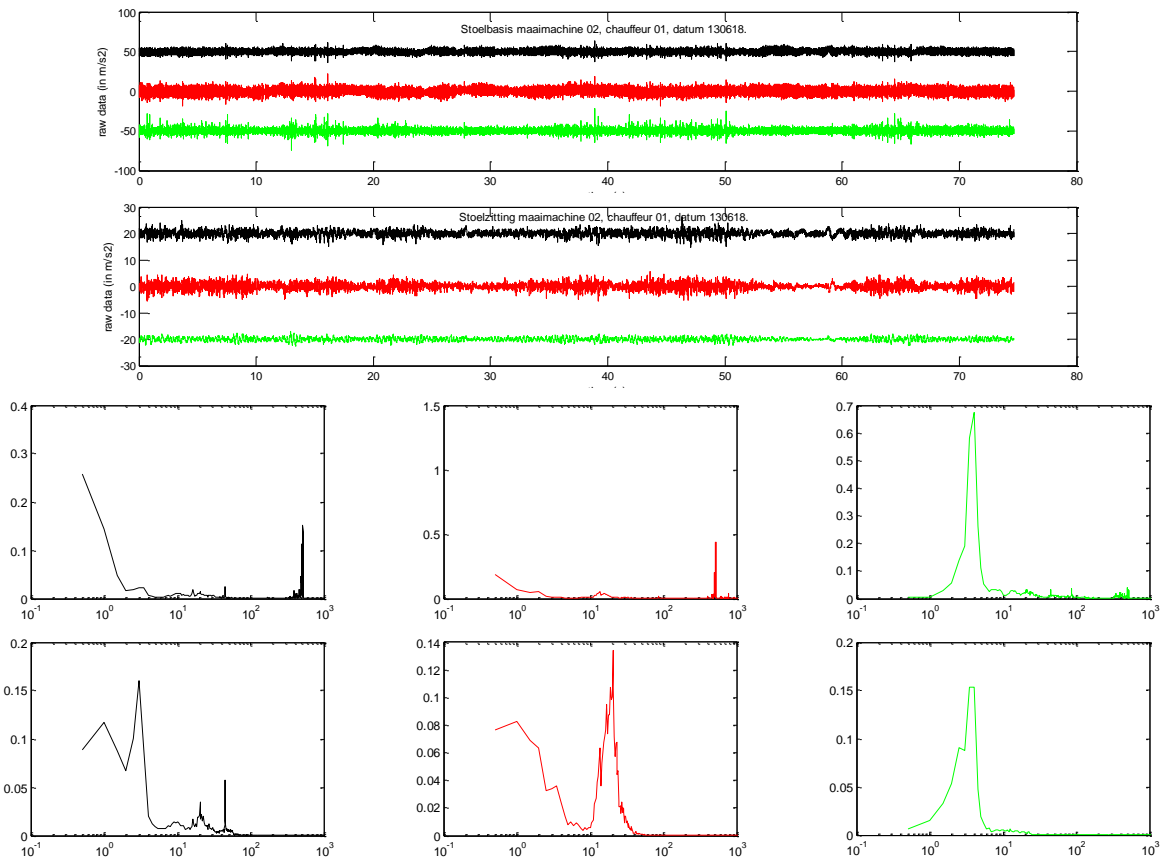


2. Ransomes HR 6010



3. John Deere 1505 S II BM

C: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 1

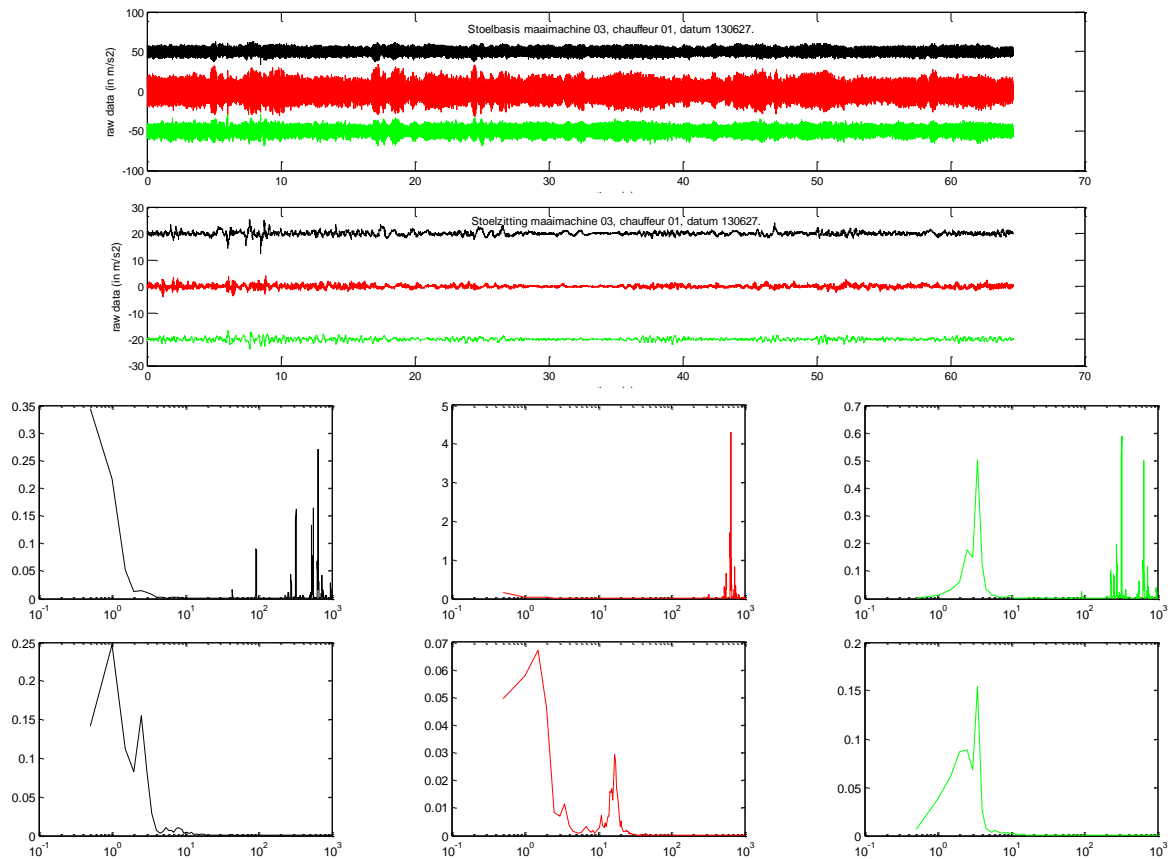


Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingssterkte (in m/s^2) meting van maaimachine 1 met chauffeur 1 tijdens normaal maaien als tijdserie van ongeveer 75 s (de rijnsnelheid tijdens het maaien was variabel), gemeten aan de stoelbasis (bovenste plot) en op de stoel (plot daaronder) voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk $+50$ en -50 m/s^2 verschoven voor de stoelbasis. Voor de meting op de stoelzitting is dit $+20$ en -20 m/s^2 .

De zes plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdseries. De bovenste rij zijn de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen). De onderste rij die van de stoelzitting. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De horizontale as geeft, in logaritmische schaal, de frequentie van 0.1 tot 1000 Hz. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

De frequentiespectra op de stoelzitting vertonen pieken rond 3-4 Hz en 20 Hz voor de X- en Y-richting, en rond 4 Hz in de Z-richting. De hoge frequenties (rond 500 Hz) van de stoelbasis in het horizontale vlak dringen niet door tot de stoelzitting.

D: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 2

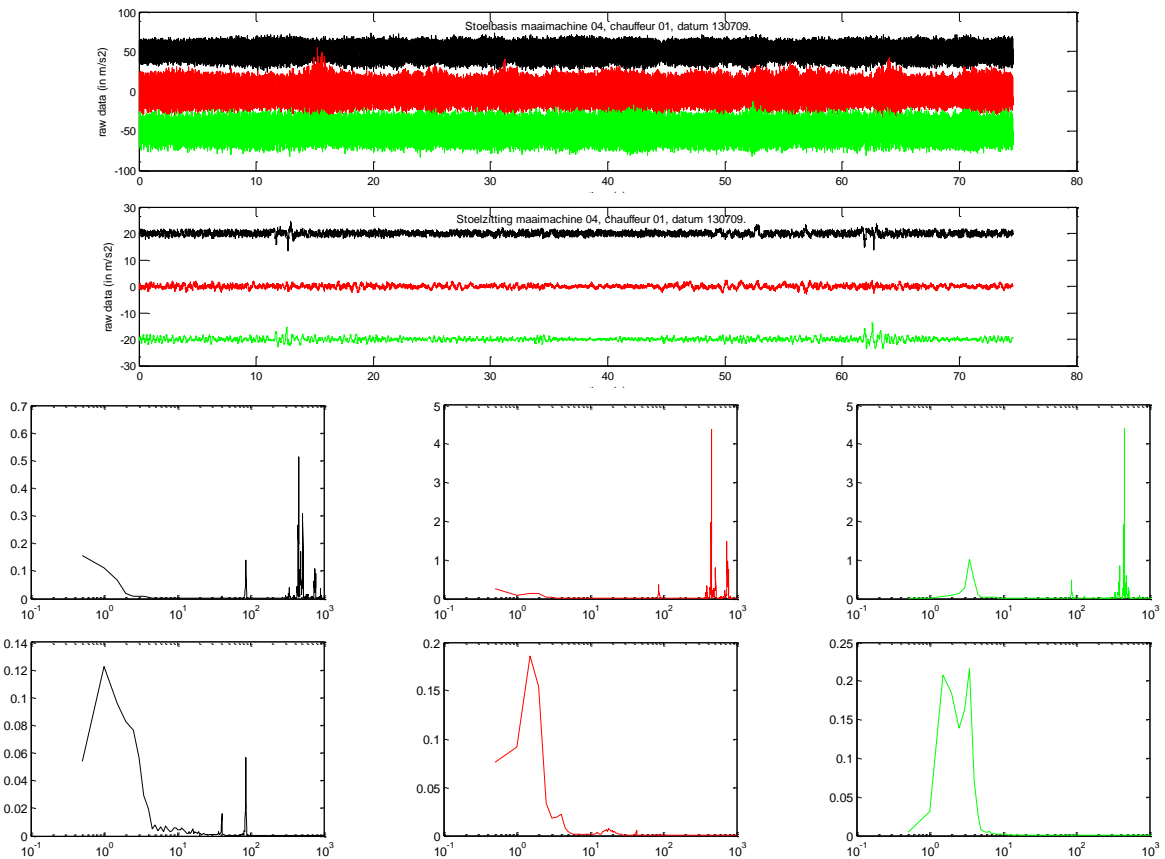


Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingssterkte (in m/s^2) meting van maaimachine 2 met chauffeur 1 tijdens normaal maaien als tijdserie van ongeveer 64 s (de rijnsnelheid tijdens het maaien was variabel), gemeten aan de stoelbasis (bovenste plot) en op de stoel (plot daaronder) voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk $+50$ en -50 m/s^2 verschoven voor de stoelbasis. Voor de meting op de stoelzitting is dit $+20$ en -20 m/s^2 .

De zes plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdseries. De bovenste rij zijn de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen). De onderste rij die van de stoelzitting. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De horizontale as geeft, in logaritmische schaal, de frequentie van 0.1 tot 1000 Hz. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

De frequentiespectra op de stoelzitting vertonen pieken rond 2-4 Hz en 10-20 Hz voor de X- en Y-richting, en rond 2-4 Hz in de Z-richting. De hoge frequenties (vanaf 100 Hz) van de stoelbasis in alle richtingen dringen niet door tot de stoelzitting.

E: voorbeeld tijdserie en frequentiespectra van cirkelmaaier 3



Ruwe ongewogen en niet-gecorrigeerde data van de gemeten trillingssterkte (in m/s^2) meting van maaimachine 3 met chauffeur 1 tijdens normaal maaien als tijdserie van ongeveer 74 s (de rij snelheid tijdens het maaien was variabel), gemeten aan de stoelbasis (bovenste plot) en op de stoel (plot daaronder) voor de trillingsrichtingen X (zwart), Y (rood) en Z (groen). Voor de helderheid van de plot zijn de data van X en Z respectievelijk $+50$ en -50 m/s^2 verschoven voor de stoelbasis. Voor de meting op de stoelzitting is dit $+20$ en -20 m/s^2 .

De zes plots daaronder geven de frequentiespectra van de getoonde tijdseries. De bovenste rij zijn de frequentiespectra van de stoelbasis (X: zwart; Y: rood; Z: groen). De onderste rij die van de stoelzitting. De frequentiespectra zijn bepaald met behulp van een Fast Fourier Transformatie in Matlab. De horizontale as geeft, in logaritmische schaal, de frequentie van 0.1 tot 1000 Hz. De verticale as geeft de relatieve sterkte (arbitraire eenheid) van elke frequentie in het gehele signaal.

De frequentiespectra op de stoelzitting vertonen pieken rond 1-3 Hz voor de X- en Y-richting, en rond 1-5 Hz in de Z-richting. De hoge frequenties (vanaf 100 Hz) van de stoelbasis in alle richtingen dringen niet door tot de stoelzitting.