

SLUTRAPPORT
SLO-927

**Enkla åtgärder för att minska vibrations-
nivåer i jordbrukstraktorer**

Niklas Adolfsson, JTI

Inledning

Sedan Arbetsmiljöverkets föreskrift om vibrationer kom (AFS 2005:15), har inte mycket hänt på nya jordbrukstraktorer. Föreskriften bygger på det EU-direktiv om vibrationer som kom sommaren 2002 (2002/44/EG). Enligt traktordirektivet (2003/37/EG) behöver inte traktortillverkarna redovisa vibrationsnivåerna, men enligt föreskriften gäller givna insats- och gränsvärden.

Direktivet (2002/44/EG) föreskriver dels ett insatsvärde, dels ett gränsvärde, som båda är normaliserade till en referensperiod på åtta timmar. Insatsvärdet för helkroppsvibrationer ligger på $0,5 \text{ m/s}^2$ och nivåer över detta bör begränsas eller åtgärdas så mycket det går. Gränsvärdet, $1,15 \text{ m/s}^2$, får däremot inte överskridas. Det är upp till arbetsgivaren, eller den egna företagaren, att se till att vibrationsnivåerna hålls under insats- och gränsvärdet. Arbetsmiljöverket har skärpt gränsvärdet till $1,1 \text{ m/s}^2$ i sin föreskrift, AFS 2005:15.

Svensk maskinprovning (SMP) utförde under 2004 mätningar på 23 jordbruks-traktorer (SMP, 2004). Helkroppsvibrationerna översteg insatsvärdet för flera traktorer under flera olika arbetsmoment. Även gränsvärdet överskreds i ett antal fall. Mätningarna visar att det utförs arbetsmoment i traktorer i jordbruket idag med för höga vibrationsnivåer.

Hittills har mycket lite forskning gjorts på traktorer för att utröna hur man kan sänka nivåerna. Byte till en bättre förarstol sänker troligtvis exponeringsnivåerna. Indikationer i mätningar på entreprenadmaskiner visar att en lägre hastighet kan påverka vibrationsnivåerna positivt. Även ett lägre lufttryck i däcken kan sänka nivåerna. Ett lågt tryck i däck gör att däck "svampar" ut och då ökar kontaktytan mot marken. Det har nu kommit förarstolar som ska ge en snabbare dämpning än de konventionella och de kallas för lågfrekvensstolar, från engelskans low frequency. Det finns också stolar med elektronisk aktiv dämpning, vilket sägs sänka vibrationerna ytterligare. Exponeringstiden är en annan faktor som spelar en stor roll i den dagliga exponeringen, men Arbetsmiljöverket anser att det är bättre att reducera källan till vibrationerna. Helkroppsvibrationer kan leda till ryggbesvär och trötthet (Wikström et al., 1994; Sjaastad & Bakketeig, 2002; ISO 2631-1, 1997), vilket ökar risken för felhandlingar och olycksfall.

I Adolfssons (2006) tidigare slutrapport om helkroppsvibrationer till SLO-fonden beskrivs vad helkroppsvibrationer är, men också vikten av att olika åtgärder testas för att man ska kunna komma tillrätta med de höga nivåer som tidigare uppmätts.

Syfte och mål

Syftet med den här studien var att kvantifiera hur mycket vibrationsnivåerna kan sänkas genom förändrad hastighet på traktorn, lufttryck i däcken och plandämpare i längsgående led.

Målet var att ge förslag på vibrationsdämpande åtgärder som är praktiskt genomförbara för lantbrukare. Målet var också att genom JTI:s kanaler sprida information och öka förståelsen bland lantbrukare, med följderna att riskmedvetenheten och kunskapen ökar om helkroppsvibrationer och de hälsoeffekter dessa vibrationer kan ge.

Material och metod

Fältförsök

Det var fem traktorer som testades och redskapen som användes var två plogar, en ensilagevagn, en gödselspridare och en kultivator. Traktorerna hade mellan 100 och 190 hk, som är vanliga motoreffekter för traktorer på mellanstora gårdar (tabell 1).

Tabell 1. Information om traktorerna och vilka typer av fjädring de hade.

Traktortyp	Typ av traktorfjädring	Typ av stolfjädring	Effekt, hk	Årsmodell
MF 7490	Framaxel- och hyttfjädring	Luftfjädrad, plandämpare	190	2006
Valtra 6550		Luftfjädrad	105	2003
Case CVX 170	Framaxel- och hyttfjädring	Luftfjädrad, plandämpare	170	2003
NH 8160PS		Luftfjädrad	100	2000
Fendt 716	Framaxel- och hyttfjädring	Luftfjädrad, plandämpare	170	2006

Fem förare har fått utföra några olika arbetsmoment, nämligen plöjning, gödselspridning, stubbearbetning samt transport på väg och i fält. Vid fält- och transportkörningarna drogs en gödselspridare respektive en ensilagevagn av traktorn. Ambitionen var att minst två hastigheter, två lufttryck och med eller utan plandämpare i längdled skulle testas för varje traktor och förare separat. Då det blev alltför tidsödande att ändra på lufttrycken i däckerna så ströks det ur projektplanen. Istället har körning med framaxelfjädringen aktiverad samt avaktiverad uppmätts. Komfortmässigt upplevs framaxelfjädringen mycket positiv, men lite undersökningar har gjorts på vad det gör för skillnad på vibrationsexponeringen. Ett försök gjordes dessutom med varierat fjädringsmotstånd i en luftfjädrad förarstol.

Hastigheterna varierades efter vad som var möjligt med tanke på det arbetsmoment som utfördes. Plandämpningen i längsgående led (x-led) liksom framaxelfjädringen var antingen på eller av. Alla mätningar pågick under minst 4 minuter beroende på det arbetsmoment som mätningen gällde. Alla mätningar vid arbetsmomenten plöjning och stubbearbetning pågick under ca 10 till 20 minuter. Mätningarna startades då traktorn stod stilla i början på det drag eller den körning som skulle göras, och mätningen avslutades direkt efter. I arbetsmomenten som uppmätts ingår även vändningarna mellan dragen, om inget annat anges.

Plöjning

Plöjningsförsök 1 gjordes med en Fendt 716 och en 4-skärig växelplog. Plöjningen gjordes i slutet av oktober och fältet bestod mestadels av lerjord, men hade en del variationer i jordarten. Föraren hade normalt plandämpningen på traktorstolen aktiverad, vilket även var fallet vid försöket med lägre hastighet.

I plöjningsförsök 2 upprepades plöjningsförsök 1 med samma förare, traktor och plog, men utan att köra med lägre hastighet. Plandämpningen var aktiverad respektive avaktiverad. På det plöjda fältet var lerhalten högre än i plöjningsförsök 1, vilket resulterade i att hastigheten vid plöjningen blev lägre på grund av det större motståndet i marken.

I plöjningsförsök 3 användes en New Holland-traktor och en 5-skärig växelplog. Fältet var avlångt, ca 500 meter. Endast ett drag är gjort för varje mätning och hastigheten var vid alla mätningar ca 5-6 km/h. Vid den andra mätningen gjorde föraren även en ristning direkt efter draget för att markera vändtegen. Därefter provades åtgärden att sänka lufttrycket i stolen och två mätningar gjordes med samma lufttryck i stolen.

Stubbearbetning

Tre mätningar gjordes vid stubbearbetning med en kultivator kopplad till en Case CVX 170. Åkern bestod av lerjord och dragen var ca 250 meter långa. Även denna förare hade alltid plandämparen aktiverad under körning med traktorn. Här mättes vibrationerna först vid normal körning med plandämparen på och sedan med en sänkt hastighet. Därefter kördes traktorn normalt fast med plandämparen avaktiverad.

Ensilagetransport på väg och i fält

Ett försök gjordes under skörd av ensilage, där vibrationsnivåerna mättes under transporten till och från fältet på landsväg samt under körning på fältet bredvid en självgående fälthack. Traktorn var en Valtra 6550 och ensilagevagnen hade en tjänstevikt på 10 ton.

Under körningen i fält varierades inget, utan traktorföraren följde fälthacken. Första och andra mätningen gjordes under flera korta drag (ca 50 meter), inklusive vändningarna. Den tredje mätningen bestod av endast ett drag över fältet (ca 200 meter).

Transport och spridning av flytgödsel

Ett försök gjordes under spridning av gödsel på en vall, där vibrationsnivåerna mättes under transporten till och från fältet på landsväg samt under körning på fältet. Traktorn var en MF 7490 och gödselspridarvagnen hade en tjänstevikt på 19 ton och var av typen slangspidare.

Traktorföraren körde normalt med både framaxelfjädringen och plandämparen aktiverad. Vid spridning av gödseln i fält gjordes körningarna utan några variationer i hastighet för att spridningen skulle bli så optimal som möjligt.

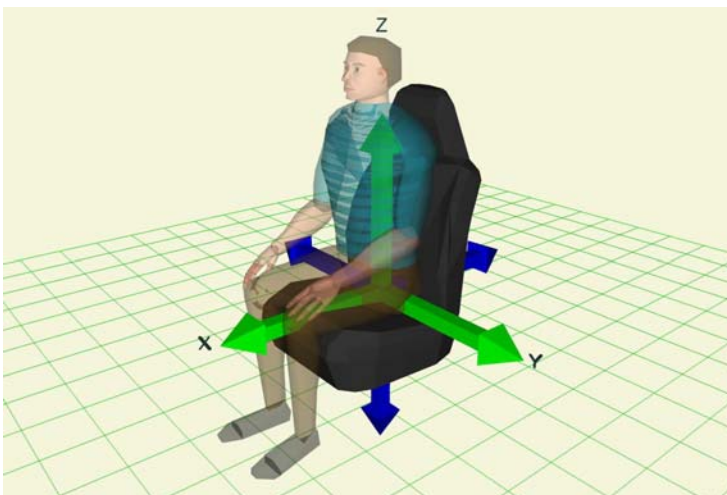
Mätningar och databearbetning

Helkroppsvibrationerna i fältförsöket mättes och beräknades enligt ISO-standarden 2631-1 (1997) på de fem traktorer som valts ut. Mätningarna utfördes med en treaxlig vibrationsmätare (S2-10G-MF, NexGen Ergonomics) inmonterad i en gummiplatta som var placerad under föraren på förarsätet och kopplad till en datalogger från Biometrics Ltd (figur 1). Vibrationerna mättes med en frekvens på 200 Hz.



Figur 1. Mätutrustningen placerad i förarstolen på en traktor.

Rådata fördes över till en dator, där ett dataprogram, "Vibration Analysis ToolSet" (NexGen Ergonomics), användes för att räkna ut tidsmedelvärdet för accelerationens effektinnehåll, också kallat för det totala frekvensvägda aRMS-värdet, för x-, y- och z-axeln. Mätvärdena i x- och y-led multiplicerades med 1,4 enligt mätstandard, på grund av att människans rygg är känsligare för rörelser i de leden (figur 2). Det frekvensområde som gäller enligt standarden är 0,5 Hz till 80 Hz.



Figur 2. Illustration av de tre dimensionerna x-, y- och z-led.

Det är det högsta värdet av de tre leden som bestämmer vilket som ska jämföras med insats- och gränsvärdet. Vektorsumman av de totala frekvensvägda aRMS-värdena för x-, y- och z-ledet redovisas också.

Insats- och gränsvärdet gäller för åtta timmar, så varje arbetsmoment med ett visst mätvärde måste räknas om för att motsvara ett arbetsmoment som pågått i åtta timmar (A8). Formeln för att göra det är:

$$A(8) = A_{\max} \sqrt{\frac{T}{8}}$$

Där A_{\max} är det högsta totala frekvensvägda aRMS-värdet av de tre leden vid ett visst arbetsmoment som pågått under T timmar.

Det högsta totala frekvensvägda aRMS-värdet representerar det arbetsmoment som mätts upp under en viss arbetstid, men har flera arbetsmoment gjorts på samma dag måste man summera dessa beroende på den tid som varje arbetsmoment varat. Formeln för att göra det är:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} (a_1^2 \times T_1 + a_2^2 \times T_2 + \dots)}$$

Där a_1 är en av de uppmätta totala frekvensvägda aRMS-värdena och T_1 tiden för just den exponeringen. $A(8)$ är värdet på summan av de olika vibrationsvärdena för en arbetsdag.

Ett sätt att ytterligare undersöka vibrationsnivåerna är att beräkna crestfaktorn (ISO 2631-1, 1997). Crestfaktorn visar hur ”stötiga” vibrationerna är, men inte nödvändigtvis hur riskfyllda de är. Crestfaktorn beräknas genom att toppvärdet för en led divideras med aRMS-värdet för det ledet. Är crestfaktorn lika med eller under 9 räknas de uppmätta värdena som mindre stötiga. Om faktorn är större än 9 kan en annan beräkningsmetod användas som passar sådana mätvärden bättre. Detta är dock inte gjort här, då endast sju mätvärden av nitton översteg faktorn 9.

Det finns vibrationskalkylatorer på Internet, där man kan knappa in mätvärdet för varje arbetsmoment och dess arbetstid, och få ut summan av vibrationsnivåerna (Umeå Universitet, 2009). Enligt Arbetsmiljöverket måste man inte mäta upp hur mycket sin egen traktor vibrerar under ett visst arbetsmoment, utan det räcker med att man kollar upp vad arbetsmomentet ger i vibrationsexponering utefter andras mätresultat och sedan räknar ut arbetsdagens totala vibrationsexponering. SMP har tagit fram en sådan beräkningskalkylator som innehåller mätvärden från deras studie (SMP, 2004).

Resultat

Resultaten redovisas i tabell 2-11 för varje enskilt arbetsmoment och sedan för varje åtgärd som provats under det arbetsmomentet. De högsta totala aRMS-värdena, eller A_{\max} , är färgmarkerade. Värden under insatsvärdet är grönmarkerade (mörkgrå) och värden över insatsvärdet gulmarkerade (ljusgrå). Inga totala aRMS-värden för x-, y- och z-ledet översteg gränsvärdet. Värdena är avrundade till två decimaler.

Toppar (peaks) som uppkom i de frekvensvägda mätvärdena under körningarna översteg i nästan alla mätningar gränsvärdet, $1,1 \text{ m/s}^2$. Det var bara under arbetsmomentet gödselspridning i fält vid normal körning, med lägre hastighet samt vid plandämparen avaktiverad som mätvärdestopparna låg under gränsvärdet för samtliga led. Vid gödselspridning med framaxelfjädringen avaktiverad översteg mätvärdestopparna gränsvärdet för x- och z-leden, men inte för y-ledet.

Plöjning

Plöjningsförsök 1

Tabell 2. Resultat från plöjningsförsök 1, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 8,5 km/h	0,56	0,79	0,35	7,6
Utan plandämpning, ca 8,5 km/h	0,62	0,77	0,36	6,0
Lägre hastighet, ca 6 km/h	0,52	0,65	0,26	8,4

Plöjningsförsök 2

Tabell 3. Resultat från plöjningsförsök 2, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 6 km/h	0,63	1,08	0,37	5,2
Utan plandämpning, ca 6 km/h	0,53	0,96	0,35	4,9

Plöjningsförsök 3

Tabell 4. Resultat från plöjningsförsök 3, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 5-6 km/h	0,57	0,83	0,41	4,3
Normal körning med en ristning	0,54	0,80	0,34	5,0
Mindre luft i stol, mätning A	0,54	0,79	0,38	5,2
Mindre luft i stol, mätning B	0,53	0,92	0,46	4,9

Stubbearbetning

Tabell 5. Resultat från stubbearbetning med kultivator, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 8,5 km/h	0,62	0,38	0,26	5,6
Lägre hastighet, ca 6,0 km/h	0,45	0,35	0,21	5,9
Utan plandämpning, ca 8,5 km/h	0,58	0,42	0,27	6,7

Ensilagetransport på väg och i fält

Transport med tom ensilagevagn

Tabell 6. Resultat från transportkörning med tom ensilagevagn, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 40 km/h	0,72	0,69	0,48	9,2
Lägre hastighet, 30 km/h	0,82	0,66	0,59	8,8

Ensilagetransport under skörd i fält

Tabell 7. Resultat från transportkörning med ensilagevagn i fält, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Mätning 1	0,69	0,80	0,40	5,8
Mätning 2	0,67	0,70	0,30	8,9
Mätning 3	0,24	0,34	0,13	5,9

Transport med fylld ensilagevagn

Tabell 8. Resultat från transportkörning med fylld ensilagevagn, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 40 km/h	0,88	0,61	0,43	13,6
Lägre hastighet, ca 30 km/h	0,79	0,57	0,38	6,0

Transport och spridning av flytgödsel

Transport med fylld gödselvagn

Tabell 9. Resultat från transportkörning med fylld gödselvagn, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 40 km/h	0,71	0,52	0,26	6,6
Lägre hastighet, ca 30 km/h	0,69	0,55	0,26	9,6
Utan framaxelfjädring	0,67	0,53	0,30	9,2
Utan plandämpning	0,61	0,52	0,29	11,4

Spridning av gödsel i fält

Tabell 10. Resultat från spridning av gödsel på fält, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, 7-27 km/h	0,23	0,27	0,17	5,7
Lägre hastighet, 7-23 km/h	0,23	0,28	0,17	4,7
Utan framaxelfjädring, 7-25 km/h	0,23	0,25	0,17	7,5
Utan plandämpning, 7-25 km/h	0,20	0,25	0,19	5,4

Transport med tom gödselvagn

Tabell 11. Resultat från transportkörning med tom gödselvagn, enhet: m/s^2 (aRMS).

	X	Y	Z	Crestfaktor
Normal körning, ca 40 km/h	0,64	0,49	0,27	9,3
Lägre hastighet, ca 30 km/h	0,35	0,42	0,21	10,1
Utan framaxelfjädring	0,52	0,49	0,30	7,6
Utan plandämpning	0,64	0,52	0,29	7,4

Diskussion

De mätningar som gjorts i detta projekt visar tydligt hur mycket vibrationsnivåerna kan skifta i storlek beroende på en mängd faktorer, varav en del troligtvis inte är kända. Några exempel på faktorer som kan påverka vibrationsnivåerna är typ av underlag som traktorn färdas på, t.ex. lerjord och asfalt, typ av traktor och förarstol, typ av arbetsmoment samt förarens körbeteende.

En av åtgärderna som testades var plandämparen, och en överraskning var att den snarare ökar vibrationsnivåerna i x-led än minskar dem enligt resultaten. I fyra av sex mätningar i detta projekt minskade vibrationsexponeringen med plandämparen avaktiverad, dock med som mest 16 % i x-led. En orsak kan vara att plandämparen snarare förstärker vibrationerna än minskar dem. Det kan bero på att den är fel inställd från fabrik med tanke på det användningsområde stolen är tänkt för, eller på helt andra faktorer. Crestfaktorn visar på snarlika värden förutom en kraftig ökning vid stubbearbetning och transport med fylld gödselvagn, där aRMS-värdet istället visar på en minskning. Detta antyder att vibrationerna kan vara mer stötiga vid dessa arbetsmoment. Crestfaktorn visar i de övriga mätningarna med plandämparen på en minskning av stötiga vibrationer.

Att sänka hastigheten kan både höja och sänka vibrationsnivåerna enligt resultaten. Enligt mätresultaten minskade nivåerna tack vare den lägre hastigheten, som mest vid transport med tom gödselvagn, transport med fylld ensilagevagn, stubbearbetning och vid plöjning. Värt att notera är att den lägre hastigheten ökade vibrationsnivåerna vid transport med tom ensilagevagn, medan den lägre hastigheten inte gjorde någon skillnad vid körningen med fylld gödselvagn. Att mätvärdena är olika kan bero på hur vagnarna är konstruerade och hur de, tillsammans med traktorn, fungerar vid olika lastmängder. Crestfaktorn visar dock att värdet vid körning i lägre hastighet med tom ensilagevagn knappt hade ändrat sig. Däremot visar crestfaktorn att då hastigheten sänks vid körning med fylld gödselvagn så ökar faktorn från 6,6 till 9,6. Detta arbetsmoment kan alltså innehålla en del stötiga vibrationer såsom körningen med tom ensilagevagn, som hade värdet 8,8.

Vid plöjning med mindre luft i stolen jämfört med den normala körningen blev resultatet både en ökning och en minskning då två mätningar gjordes. Detta kan tyda på att den ändringen inte spelar någon större roll för vibrationsexponeringen. Detta styrks av crestfaktorn som visar på låga värden under båda körningarna vid denna åtgärd.

Vad framaxelfjädringen kan göra för vibrationsnivåerna testades vid transport med fylld och med tom gödselvagn samt under spridning av gödseln. Under körning med fylld vagn samt under spridning uppmättes inga större skillnader mellan körningarna med fjädringen av eller på. Crestfaktorn ökar dock vid dessa arbetsmoment, vilket tyder på att de kan vara mer stötiga utan framaxelfjädring. Vid körning med tom gödselvagn uppmättes lägre vibrationsnivåer utan framaxelfjädring. Detta visar även crestfaktorn på, som blir lägre vid körning utan framaxelfjädring. Vid detta arbetsmoment gav en lägre hastighet en mycket större sänkning av vibrationsnivåerna än med framaxelfjädringen avaktiverad.

Slutsats

Variationen i de uppmätta vibrationsnivåerna är stora, men ett visst mönster går att se. Vid körning i fält är det vibrationerna i y-led, sidled, som är de högsta, förutom vid stubbearbetningen då det var i x-led. Vid all transportkörning var det x-ledet, det längsgående ledet, som gav de högsta vibrationsnivåerna. En trolig orsak är att det rycker mer i traktorn när ett tungt släp är kopplat till den. Detta är viktigt att tänka på för att kunna göra de rätta åtgärderna för att sänka vibrationerna i traktorn. Mätresultaten visar dock att plandämpare inte alltid är den bästa lösningen, men det beror troligtvis på hur väl den är anpassad för sin uppgift. Att köra med en lägre hastighet tycks enligt mätresultaten ge en kraftigare sänkning av vibrationsexponeringen än någon annan testad åtgärd.

Projektets resultat visar tydligt hur viktigt det är att fler mätningar görs på lantbrukstraktorer, då förhållanden och utrustning spelar stor roll på den uppmätta vibrationsnivån.

Publicering och resultatförmedling

En webbnotis om projektet har skickats ut till drygt 950 prenumeranter och har samtidigt lagts ut på JTI:s hemsida. Pressmeddelanden har skickats till ett knappt 100-tal medieföretag.

Slutrapporten har lagts ut i sin helhet på JTI:s hemsida www.jti.se.

Referenser

- Adolfsson N., 2006. *Helkroppsvibrationer – Behöver lantbrukaren bry sig?* Slutrapport, SLO-fonden, SLO-897. Uppsala.
- Arbetsmiljöverket, 2005. *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om vibrationer och allmänna råd om tillämpning av föreskrifterna. AFS 2005:15.* Arbetsmiljöverket.
- Europeiska gemenskapernas officiella tidning, 2002. Europaparlamentets och rådets direktiv **2002/44/EG**, av den 25 juni 2002, om minimikrav för arbetstagarens hälsa och säkerhet vid exponering för risker som har samband med fysikaliska agens (Vibration) i arbetet (sextonde särdirektivet enligt artikel 16:1 i direktiv 89/391/EEG). Europeiska gemenskapernas officiella tidning L 177, 06,07.2002, s. 13-19.
- ISO 2631-1 (1997). *Vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.*
- Sjaastad O. & Bakketeig L.S., 2002. *Tractor drivers' head- and neckache: Vågå study of headache epidemiology.* Cephalalgia, 22, pp 462-467.
- SMP, 2004. *Vibrationer – ett arbetsmiljöproblem?* Rapport SLO-847, PM 53521/03. <http://www.smp.nu/documents.aspx>
- Umeå Universitet, 2009. *Vibrationsdatabasen.* <http://www.vibration.db.umu.se/>
- Wikström B.-O., Kjellberg A. & Landström U., 1994. *Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: a review.* International Journal of Industrial Ergonomics 14, pp 273-292.