

BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM
KERTÉSZETTUDOMÁNYI KAR
MŰSZAKI TANSZÉK

**KERTÉSZETI KISGÉPEK REZGÉSTERHELÉSE ÉS
ANNAK MÉRSÉKLÉSE**

Doktori (PhD) értekezés

Írta:
László Helga Elvira

Témavezetők:

Dr. Láng Zoltán
a mezőgazdasági tudományok kandidátusa
és
Dr. Augusztinovicz Fülöp
a műszaki tudományok kandidátusa

Budapest

2010

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Tóth Magdolna
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Gyümölcsstermő Növények Tanszéke

Témavezetők: Dr. Láng Zoltán
egyetemi tanár, CSc
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Műszaki Tanszék

Dr. Augusztinovicz Fülöp
egyetemi docens, CSc
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Híradástechnikai Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Dr. Láng Zoltán

.....
Dr. Tóth Magdolna
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
Dr. Augusztinovicz Fülöp
A témavezetők jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2010. június 8-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Fekete András, DSc

Tagjai

Vatai Gyula, DSc

Sztachó-Pekáry István, CSc

Horváth Béla, CSc

Opponensek

Felföldi József, PhD

Fenyvesi László, PhD

Titkár

Sinóros-Szabó Botond, PhD

Tartalomjegyzék

Rövidítések, jelölések	3
A doktori vizsgálatok során alkalmazott szabványok összefoglaló jegyzéke	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1. A rezgés jellemzése	9
2.1.1. Bevezetés, a rezgések típusai	9
2.1.2. A rezgés jellemzői	9
2.1.2.1. Kitérés, sebesség, gyorsulás	9
2.1.2.2. Frekvenciaelemzés	10
2.2. A rezgés emberre gyakorolt hatása.....	11
2.2.1. Bevezetés.....	11
2.2.2. A kéz-kar vibráció forrása, az érintettek köre	11
2.2.3. A kéz-kar vibrációs szindróma	12
2.2.4. Dózis-hatás összefüggés a kéz-kar vibrációs szindróma kialakulásában	14
2.2.4.1. A frekvencia és a rezgés gyorsulás mértékének szerepe	15
2.2.4.2. A rezgés expozíció időtartamának és irányának szerepe	15
2.2.4.3. A kéz-kar vibrációs szindróma kialakulását befolyásoló egyéb tényezők	17
2.3. Kertészeti kisgépek rezgésterhelése	18
2.3.1. Bevezetés.....	18
2.3.2. ISO 5349 – A kézre ható rezgés megítélése.....	19
2.3.3. Kerti motoros kéziszerszám-kezelőt érő rezgésterhelés	20
2.3.4. Kerti motoros kéziszerszámok rezgésterhelését befolyásoló tényezők	21
2.4. Szabványok és határértékek	22
2.4.1. Bevezetés.....	22
2.4.2. Kisgépek rezgés kibocsátásának mérésére vonatkozó szabványok.....	23
2.4.3. Kézre ható rezgés mérésére vonatkozó szabványok.....	23
2.4.4. A kéz-kar vibráció mértékére vonatkozó előírások	23
2.5. Rezgés védelem.....	24
2.5.1. Bevezetés.....	24
2.5.2. Rezgés védelmi intézkedések	25
2.5.2.1. Rezgés csökkentés	25
2.5.2.2. Rezgés csillapítás	25
2.5.2.3. Rezgés szigetelés	26
2.5.2.4. Rezgés expozíció idejének csökkentése	27
2.5.2.5. Egyéb védőintézkedések	28
2.5.3. Az anti-vibrációs kesztyű.....	28
2.5.3.1. Bevezetés, az anti-vibrációs kesztyű típusai.....	28
2.5.3.2. ISO 10819:1996 – Az anti-vibrációs kesztyű kritériuma	30
2.5.3.3. Néhány probléma az ISO 10819:1996 szabvánnyal kapcsolatban	31
3. A SZAKIRODALMI ISMERETEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS HIPOTÉZISEK .	35

4. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	37
4.1. Kertészeti kisgépek rezgésterhelésének mérése	37
4.1.1. Vizsgált kézi szerszámok	37
4.1.2. A rezgésmérés eszközei és a kézre ható rezgés mérésének körülményei	37
4.1.3. Az eredmények kiértékelése	42
4.2. Anti-vibrációs kesztyű rezgésátvitelének vizsgálata	42
4.2.1. A vizsgálat körülményei	42
4.2.2. A kesztyűtesztek eredményeinek kiértékelése	47
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	49
5.1. Kertészeti kisgépek rezgésterhelése	49
5.1.1. Kisgépek üzemi körülmények között mért rezgésterhelése	49
5.1.2. A mérési idő hosszának hatása a teszt eredményére	61
5.1.3. Új eszközök rezgés kibocsátása és használt eszközök rezgésterhelése	64
5.1.4. A kisgép üzemóra számának szerepe a rezgésterhelés változásában	66
5.1.5. A kisgép üzemi helyzetének hatása a kézre ható rezgésterhelésre	69
5.1.6. Összefoglalás és értékelés	71
5.2. Anti-vibrációs kesztyűk frekvenciaátviteli függvényének mérése	75
5.2.1. Az anti-vibrációs kesztyű hatékonysága kertészeti kisgépekkel	75
5.2.2. A rezgés amplitúdója és a kesztyű rezgés csillapítása közötti összefüggés	82
5.2.3. A fogantyú nyomóereje és a kesztyű rezgés csillapítása közötti összefüggés	85
5.2.4. A tesztalányok közti különbségek hatása a mérési eredményre	88
5.2.5. Összefoglalás és értékelés	92
5.3. Új tudományos eredmények	97
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK	100
7. ÖSSZEFOGLALÁS	104
SUMMARY	106
M1. IRODALOMJEGYZÉK	108
M2. TOVÁBBI MELLÉKLETEK	122
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	159

Rövidítések, jelölések

γ_{io}^2	koherencia
α	szignifikancia szint
$\hat{a}$	rezgés gyorsulás csúcserőke [ms^{-2}]
$\bar{a}$	rezgés gyorsulás számtani átlaga [ms^{-2}]
$a_{hv(eq,8h)}$ vagy A(8)	napi számított rezgés expozíció [ms^{-2}]
a	gyorsulás [ms^{-2}]
$a_{fogantyú}$	súlyozott rezgés gyorsulás a fogantyún [ms^{-2} r.m.s.]
a_h	rezgés gyorsulás effektív értéke [ms^{-2} r.m.s.]
a_{hi}	súlyozott rezgés gyorsulás az i -edik tercsávban [ms^{-2} r.m.s.]
a_{hv}	súlyozott teljes rezgés gyorsulás [ms^{-2} r.s.s.]
a_{hw}	frekvencia szerinti súlyozott rezgés gyorsulás [ms^{-2} r.m.s.]
a_{hwx}	az x tengely mentén mért súlyozott rezgés gyorsulás [ms^{-2} r.m.s.]
a_{hwy}	az y tengely mentén mért súlyozott rezgés gyorsulás [ms^{-2} r.m.s.]
a_{hwz}	a z tengely mentén mért súlyozott rezgés gyorsulás [ms^{-2} r.m.s.]
$a_{kesztyű}$	súlyozott rezgés gyorsulás kesztyű viselésekor [ms^{-2} r.m.s.]
$a_{kesztyű nélkül}$	súlyozott rezgés gyorsulás kesztyű viselése nélkül [ms^{-2} r.m.s.]
$a_{kéz}$	súlyozott rezgés gyorsulás a tenyérben [ms^{-2} r.m.s.]
$\overline{cTR}$	átlagos korrigált rezgés átvitel
CSD	kereszt-teljesítménysűrűség spektrum (cross spectral density)
CoV	variációs koefficiens
D_y	összes terhelési idő [év]
EAV	napi beavatkozási határérték [ms^{-2} r.m.s.]
ELV	napi expozíciós határérték [ms^{-2} r.m.s.]
f	frekvencia [Hz]
$G_{ii}(f)$	a bemenő jel teljesítménysűrűség spektruma
$G_{io}(f)$	a bemenő-kimenő jelre számított kereszt-teljesítménysűrűség spektrum
$G_{oo}(f)$	a kimenő jel teljesítménysűrűség spektruma
HAVS	kéz-kar vibrációs szindróma
$H_{io}(f)$	kesztyű frekvenciaátviteli függvénye
i	a tercsáv száma
PSD	teljesítménysűrűség spektrum (power spectral density)
r.m.s.	négyzetes középérték
r.s.s.	x , y és z irányok r.m.s értékeinek négyzetes középértéke
SD	szórás
t	idő [s]
T	mérés időtartama [s]
$T_{(8)}$	napi rezgés expozíció ideje (28800 s) [s]
$T_{(p)}$	periódus idő [s]
$\overline{TR}_H$	átlagos rezgés átvitel a H spektrumra
$\overline{TR}_M$	átlagos rezgés átvitel az M spektrumra
TR	átlagos rezgés átviteli függvény
v	sebesség [ms^{-1}]
W_h	kézre ható rezgés súlyozószűrője
W_{hi}	kézre ható rezgés súlyozó tényezője az i -edik tercsávban
x	kitérés [m]
ω	körfrekvencia [rad/s]

A doktori vizsgálatok során alkalmazott szabványok összefoglaló jegyzéke

CEN/TR 15350:2006	Mechanical vibration – Guideline for the assessment of exposure to hand-transmitted vibration using available information including that provided by manufacturers of machinery
EN 12096:1997	Mechanical vibration – Declaration and verification of vibration emission values.
ISO 10819:1996	Mechanical vibration and shock—Hand-arm vibration—Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand.
ISO 13753:1998	Mechanical Vibration and Shock - Hand-Arm Vibration - Method for Measuring the Vibration Transmissibility of Resilient Materials when Loaded by the Hand-Arm System
ISO 20643:2008:	Mechanical vibration – Hand-held and hand-guided machinery – Principles for evaluation of vibration emission.
ISO 22867:2008	Vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine – Vibration at the handles.
ISO 5349:2001	Mechanical Vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.
ISO 8041:2005	Human response to vibration - Measuring instrumentation.
ISO 8662-1:1988:	Hand-held power tools – Measurement of vibrations at the handle – Part 1: General.

Szüleimnek

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az iparosodás és a különböző gépek megjelenése idézte elő a zaj- és rezgés kibocsátás problémáját. Mind a zaj, mind a rezgés, más néven vibráció nemcsak a környezetre, gépekre nézve káros, hanem az emberekre is. Az utóbbi néhány évtizedben fokozott figyelem irányult a zaj eredetű egészségügyi károsodások megelőzésére azonban a humán rezgés védelem továbbra is mostohagyerekként kezelt terület. Magyarországon a csak rezgés védelemmel foglalkozó szakirodalom rendkívül csekély és szűkszavú.

Világviszonylatban több millió, Magyarországon, becslések szerint, több tízezer kertészeten, erdőszetben dolgozó ember van napi rendszerességgel kitéve kézre ható rezgésnek (Eurofound 2005). Ezeket a rezgéseket elsősorban kézben tartott motoros szerszámok, úgy, mint fűkaszák, láncfűrészek, fűnyírók, stb. gerjesztik. Az ilyen eszközök huzamosabb idejű használata súlyos izom-, ideg-, és csont megbetegedések, úgynevezett kéz-kar szindróma kialakulását eredményezik. Az egészségügyi károsodások nemcsak az egyén életét nehezítik meg, de a munkából kiesés és a kezelés is komoly összegeket emésztethet fel.

Az Európai Unió számos lépést tett a humán rezgésre vonatkozó szabályozás területén. Egyrészt szabályozza a gép rezgés kibocsátásának vizsgálatát, amely a forgalomba hozatal előtt a gyártó feladata, másrészt szabályozza a kezelőt ért rezgésterhelés mérését és értékelését. A gép rezgés kibocsátásának meghatározása vagy szimulált munkakörülmények közötti méréssel, vagy azonos típusú gép ismert rezgés kibocsátásából becsléssel történik. A gépkezelőt érő rezgésterhelés meghatározása alapvetően az ISO 5349:2001 szabvány alapján történik, és a kézre ható rezgésmérés eredménye szolgáltatja az alapot a használatban lévő eszköz veszélyességének meghatározásához. A kisgép által kibocsátott rezgés mérésére, illetve a kézre ható rezgés mérésére és értékelésére vonatkozó szabványokkal kapcsolatban azonban számos kérdés és probléma merült fel. A szimulált munkakörülmények között elvégzett géprezgés-tesztek sok esetben alábecsülik a valós munkakörülmények között jellemző rezgés kibocsátást. Ezen túlmenően pillanatnyilag nincs olyan adatbázis, amely alapján a gyártó megbízható pontossággal elvégezheti a kertészeten használt gépek rezgés kibocsátásának becslését. Mivel több, a szabványokban nem rögzített tényező befolyásolhatja a gépek rezgésmutatóit és a kézre átadódó rezgés mértékét, a teszteredmények nem feltétlenül pontos indikátorai a gépkezelőt érő rezgésterhelésnek.

A kézre ható rezgés komoly egészségügyi kockázattal jár, ezért csökkentésére egyre nagyobb igény van. Az 1970-es években az anti-vibrációs rendszerrel felszerelt láncfűrészekkel (Griffin 1990) kezdett megjelenni a kézi gépek új generációja. A gyártók rezgéscsökkentő rendszereinek kifejlesztése mellett az olcsóbb megoldást jelentő egyéni védőeszközök szerepe is megnőtt.

Az anti-vibrációs kesztyű egy olyan egyéni védőeszköz, amely szigeteli a kezet a géptől, és anyagánál fogva csökkenti a kézre ható rezgés mértékét. Annak ellenére, hogy egy anti-vibrációs jelzéssel való ellátásának komoly követelményei vannak, a vizsgálatra vonatkozó ISO 10819:1996 szabvánnyal kapcsolatban itt is számos kétség és probléma merült fel. A legfrissebb kutatások során több olyan tényezőt találtak, amelyek kihatással lehetnek egy anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítására.

A jelenlegi ismeretek áttekintését követően a doktori kutatásban az alábbi célokat és feladatokat fogalmaztam meg:

- A kertészetben gyakran használt kézi gépek által keltett, gépkezelőt érő rezgésterhelés vizsgálata az ISO 5349:2001 szabvány alapján, valós munkakörülmények között (a gyártók által, új eszközökre megadott rezgés kibocsátás adatokkal történő összevetéssel kiegészítve).
- Olyan tényezők meghatározása és szerepük mérésekkel való igazolása, amelyek hatással lehetnek a kertészeti motoros eszközök rezgés kibocsátására, ezáltal a kezelőt érő rezgésterhelésre.
- A kézre ható rezgésre vonatkozó ISO 5349:2001 szabványban nem részletezett tényezők meghatározása és vizsgálata, amelyek befolyásolhatják a kézre ható rezgés mérési eredményének pontosságát.
- Anti-vibrációs kesztyű rezgést csökkentő hatékonyságának tesztelése az ISO 10819:1996 szabvány alapján, valós kertészeti gépekkel.
- Olyan tényezők meghatározása és vizsgálata, amelyek hatással lehetnek az anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítására.
- Az eredményeim alapján ajánlás készítése az ISO 5349:2001 és ISO 10819:1996 szabvány felülvizsgálatára.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A rezgés jellemzése

2.1.1. Bevezetés, a rezgések típusai

Egy test akkor rezeg, ha egy adott referencia ponthoz képest, általában a rezgésgerjesztés nélküli, nyugalmi állapot körül, oszcilláló mozgást végez. A műszaki gyakorlatban használatos meghatározás szerint egy pont akkor végez rezgő mozgást, ha koordinátájának $z(t)$ időfüggvénye felülről és alulról korlátos és a dz/dt mozgássebesség legalább kétszer előjelet vált a vizsgált időintervallumban. A gyakorlatban a kis frekvenciájú és nagyobb kitérésű mozgásra a lengés, míg a nagyobb frekvenciájú, de kisebb kitérésű mozgásra a rezgés megnevezés használatos (Walz 2008). Ha létezne ideális gép, azon semmiféle rezgés nem lépne fel, mivel az összes munkaenergiát az elvégzendő munkára fordítaná. A gyakorlatban a rezgések a mechanizmuson üzemszerűen áthaladó ciklikus erők átviteli folyamatának melléktermékeként lépnek fel. A gép elemei egymásra kölcsönhatást gyakorolnak és a szerkezetben energia nyelődik el rezgések formájában.

A rezgések két nagy csoportra bonthatók: a meghatározott (determinisztikus rezgések) olyan matematikai kifejezéssel jellemezhetőek, mely megadja a rezgőmozgás időbeni változását. A véletlenszerű (sztochasztikus) rezgések jellemzésére azonban csak statisztikai módszerek alkalmazhatók. Attól függően, hogy a rezgő részecskék mozgása ismétlődik-e egy adott idő, periódusidő után periodikus és nemperiodikus rezgéseket különböztetünk meg.

2.1.2. A rezgés jellemzői

2.1.2.1. Kitérés, sebesség, gyorsulás

A legegyszerűbb periodikus rezgés a harmonikus (szinuszos) rezgőmozgás. A másodpercenkénti mozgásciklusok száma adja a frekvenciát, f (s^{-1} , Hz). A periodikusan egymást követő, egyirányú rezgési állapotok közti legrövidebb idő a periódusidő, $T_{(p)}$ (s). A rezgés különböző mennyiségekkel jellemezhető, amelyek között - szinuszos rezgés esetén - matematikai kapcsolat van az idő- és frekvenciafüggvényen keresztül. A *kitérés* pillanatnyi értéke az alábbiak szerint számítható: $x = \hat{x} \sin \omega t$ ahol $\hat{x}$ kitérés amplitúdója, más néven legnagyobb kitérés (m), ω a körfrekvencia ($\omega = 2\pi f$, rad/s) és t az idő. Mivel a *sebesség*, v (ms^{-1}) a kitérés idő szerinti első deriváltjaként számítható, ezért a mozgás jellemzésére a

sebesség is használható: $v = \frac{dx}{dt} = \omega \hat{x} \cos(\omega t) = \hat{v} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ ahol $\hat{v}$ a sebesség

csúcserőértéke. A gyorsulás, a (ms^{-2}) a kitérés idő szerinti második deriváltjaként határozható meg, így $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \hat{x} \sin(\omega t) = \hat{a} \sin(\omega t + \pi)$ ahol $\hat{a}$ a gyorsulás csúcserőértéke.

A periodikus rezgések időbeli lefolyásának pontos leírásához - a gyorsulásértékeket nézve - az $\hat{a}$ csúcserőérték mellett az $\bar{a}$ gyorsulás számtani középértéket ($\bar{a} = \frac{1}{T} \int_0^T (a) dt$) és a a_h gyorsulás effektív értéket (r.m.s. érték, ms^{-2}) is számolják az alábbi módon:

$$a_h = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

ahol T a mérés időtartama (s). Ez utóbbi fontosabb, mivel közvetlen kapcsolatban van a rezgés energiatartalmával. Szinuszos rezgés esetén a gyorsulás effektív értéke, $a_h = \hat{a} / \sqrt{2}$.

Nem harmonikus rezgések esetén a rezgések különböző frekvenciájú szinuszos rezgések összegeként, Fourier transzformációval szinuszos folyamatként elemezhetők. Véletlenszerű rezgések esetén statisztikai módszerek alkalmazhatóak a mozgás jellemzésére: az r.m.s. érték, az amplitúdó valószínűségi eloszlása, vagyis a valószínűségi sűrűségfüggvény, a rezgés teljesítménysűrűség spektruma (PSD) és az autokorrelációs függvény. Mivel a gyakorlatban a vibráció hatása egy adott objektumra nézve erősen frekvenciafüggő, ezért fontos tudni a rezgés frekvencia összetevőit.

2.1.2.2. Frekvenciaelemzés

A mozgás lehet egyetlen összetevőjű, frekvenciájú, a gyakorlatban azonban a rezgésjel összetett, ilyenkor az egyidejűleg ható összetevők különböző frekvenciájúak. Mivel az amplitúdó-idő függvényből ezen összetevők nem olvashatók ki azonnal, az amplitúdót célszerű a frekvencia függvényében ábrázolni. A frekvenciaelemzés lehetővé teszi a rezgés komponenseinek feltárását, pl. speciális szűrő segítségével, amelyek lehetnek állandó sáv szélességű vagy állandó relatív sáv szélességű szűrők. A géprezgések és az emberre ható rezgések elemzésekor leggyakrabban használt típusok az oktáv sáv és tercsáv szűrők és a különböző súlyozószűrők.

2.2. A rezgés emberre gyakorolt hatása

2.2.1. Bevezetés

A rezgés az élet mindennapos része, amely nemcsak a gépekre, épületekre van hatással, hanem az emberi testre is. A humán rezgés a környezetben jelenlévő mechanikai rezgés emberre gyakorolt hatásaként definiálható. A vibráció befolyásolja: (i) a kényelemérzetet, (ii) a tevékenységet, és (iii) az egészséget. Mindhárom esetben a hatás lehet kellemes, kellemetlen és káros.

Az ember rezgésérzékelési tartománya a 0,1-10000 Hz-es tartományt öleli fel, a legnagyobb érzékenysége a 200-250 Hz-es tartományban tapasztalható (Walz 2008). A humán vibráció a rezgésre adott válaszreakciója alapján, amely különböző frekvenciatartományokhoz igazodik, három nagy csoportra bontható: egésztest rezgés (0,5 – 80 Hz közötti rezgések), kinetosis, más néven utazási betegség (1 Hz alatti rezgések) és a kéz-kar rezgés (8-1000 Hz közötti rezgések) (Griffin 1990). Mivel a válaszreakciók 'mechanikailag' különbözőek, ezért vizsgálatuk is külön történik. A kéz-kar rezgés olyan mechanikai rezgés, amely az emberi kéz-kar rendszerre továbbítva a munkavállaló számára egészségi és biztonsági kockázatokat jelent, különösen érrendszeri, csont-, izom-, ízületi, illetve idegrendszeri elváltozások formájában (2002/44/EK irányelv). Ez a fejezet áttekintést ad a kertészeti motoros kéziszerszámok használatakor fellépő kéz-kar vibráció kiváltó okairól, egészségügyi hatásáról és a károsodások megelőzési lehetőségeiről.

2.2.2. A kéz-kar vibráció forrása, az érintettek köre

Az Eurofound (2005) negyedik jelentése az európai munkakörülményekről megállapította, hogy három munkavállalóból egy rezgésnek van kitéve. Az érintettek nagyobb része olyan munkavállaló, aki kézi vezetésű és kézben tartott gépekkel dolgozik. Az EU országok között Magyarország esetében volt a legmagasabb, kb. 35%, a rezgésexpozíciónak kitéttek aránya.

A kézre ható rezgés számos ipari folyamat során keletkezhet; a mezőgazdasági ágazat - az építőipar és bányászat után- a harmadik legnagyobb szektor (38%), amelyben számolni kell a munkavállalót érő rezgésterheléssel (OSHA 2008). Több európai ország felmérése a rezgésterhelés (kéz-kar és egésztest) ágazat szerinti megoszlásából kiemelte az agrár-és erdőművelés meghatározó szerepét (Kauppinen *et al.* 2006, Rohrbach 2009). Az Egyesült Királyságban például egy 2000-ben készített felmérés alapján az agrárágazatban kéz-kar vibrációs ártalomnak kitétt alkalmazottak arányát 63%-ra, 219 ezer férfira becsülik. Több mint 69 ezer azon kertészek, parkápolók és gazdálkodók becsült száma, akik fokozott, a

határértéket meghaladó kéz-kar rezgéseexpozíciónak vannak kitéve (Palmer *et al.* 2000). Jelenleg nem áll rendelkezésre olyan felmérés, amely feltárná a magyarországi kertészetben, erdészetben, mezőgazdaságban dolgozók kézre ható rezgésnek való kitettségét. Magyarországon 2007-ben 195.000 munkavállalót foglalkoztattak (állandó vagy időszakos alkalmazásban) csak a mezőgazdaságban (KSH 2008). Ez a fenti arányok alapján több mint 60.000 rezgésnek kitett és potenciálisan veszélyeztetett embert jelenthet. Sajnos a vibrációs eredetű megbetegedések bejelentése és így a kockázatbecslés, számos okra visszavezethetően, évek óta csökken; 2006-ban 13, 2007-ben mindössze 6 esetben történt rezgésre visszavezethető foglalkozási megbetegedés bejelentés (OMMF 2008).

Kézre ható rezgéseket bármilyen kézben tartott vagy kézi vezetésű motoros eszköz gerjeszt (Griffin 1990, Pääkkönen 2005). Az Egyesült Királyság Egészségügyi és Munkabiztonsági Intézete külön kiemelte a kertészeti gépeket, mint jelentős kézre ható vibrációs forrást (Griffin 1997, HSE 2005). Palmer és kollégái (2001) vizsgálatából kiderült, hogy a fűnyírók és a láncfűrészek fokozottan idézik elő a vibrációs megbetegedéseket. Kertészetben, erdészetben leggyakrabban alkalmazott kézi gépek a különböző kialakítású és teljesítményű fűkaszák, láncfűrészek, fűnyírók, sövénynyírók, sövényvágók, motoros háti permetezők és levélfűjők. Kézi vezetésű kisgépek közül a kézi kapa a legelterjedtebb.

2.2.3. A kéz-kar vibrációs szindróma

A rezgés a gépek működése következtében keletkezik, és - közvetlenül vagy közvetve áterjedve az emberi szervezetre abban kóros elváltozásokat okozhat. Ezen elváltozások összességét nevezzük vibrációs ártalmaknak (Kákossy 2004). A kéz-kar vibráció esetében a rezgések a kézen át, elsősorban a vibrációs hatást keltő kézizmerszám fogantyúján keresztül jutnak be a szervezetbe (Bovenzi 1994, Brammer és Taylor 1982, Gemne *et al.* 1993, Griffin 1990, Taylor 1974, Taylor és Pelmear 1975). A rezgés hatására egy összetett tünetegyüttesből álló kórkép a kéz-kar vibrációs szindróma (hand-arm vibration syndrome, HAVS) alakul ki.

Giovanni Loriga volt az első, aki 1911-ben feljegyezte, hogy a bontókalapácsot használó kőmegmunkálók körében gyakori a karzsibbadás, a kéz érzéketlensége és az ujjak elfehéredése (Loriga 1911). Később, 1918-ban Leake definiálta a tünetegyüttest, amelyet halott ujj szindrómának nevezett el (Leake 1918). Azóta számos tanulmány bizonyította az összefüggést a munkahelyi kéz-kar rezgéseexpozíció és a HAVS kialakulása között (Bovenzi *et al.* 1988, Bovenzi 1994, 1998a, Färkkilä *et al.* 1979, Gemne *et al.* 1993,

Gemne 1997, Griffin 2008a, Pyykkö *et al.* 1986b). Griffin (1997) tanulmányában kiemelte a kertészetben használt kézi gépek rezgésének szerepét a vibrációs szindróma kialakulásában.

Habár a kézre ható rezgés előidézte egészségkárosodás jelei és tünetei közti összefüggés máig kutatások tárgyát képezi, a károsodások öt csoportba sorolhatók (Griffin 1982a):

- Érrendszeri elváltozások, keringési zavarok

Az érrendszeri elváltozások egyik legszembetűnőbb megnyilvánulási formája a fehér ujj betegség (vibration white finger, VWF), amely az érfalak beszűküléséből és a redukált keringésből (Raynaud szindróma) adódik és gyakran társul zsibbadással, az érzékelés csökkenésével, az ujjak kifehéredésével, fokozott kézleghűléssel (1. ábra).



1. ábra Fehér ujj szindróma (Griffin 2008b).

- Periférikus idegrendszer elváltozásai

A fehér ujj betegség gyakori kísérő tünete, hogy az érzékelés (tapintás, rezgés, hőérzet, fájdalomérzet) jelentősen lecsökken, fájdalom és/vagy zsibbadás lép fel.

- Csont- és ízületi elváltozások
- Izomelváltozások
- Egyéb általános elváltozások (például központi idegrendszeri)

Az egyes, kertészetben is alkalmazott kisgépek által kiváltott elváltozásokkal kapcsolatos tanulmányok szelektált listája az 1. táblázatban található. Látható, hogy az eddigi vizsgálatok meghatározó része láncfűrészekre koncentrált és meglehetősen kevés információ áll rendelkezésre más, elsősorban a kertészetben alkalmazott kisgép rezgésének emberre gyakorolt hatásáról.

1. táblázat A HAVS tüneteivel kapcsolatos tanulmányok.

Szindróma	Kutatócsoport	Vizsgált eszköz
<i>fehér ujj szindróma</i>	Bovenzi (2008)	láncfűrész
	Bovenzi <i>et al.</i> (1998)	láncfűrész
	Färkkilä <i>et al.</i> (1988)	láncfűrész
	Futatsuka (1984)	fűkasza
	Futatsuka és Ueno (1986)	láncfűrész
	Kumlin <i>et al.</i> (1973)	láncfűrész
	Kylin és Lindström (1970)	láncfűrész
	Matsumoto <i>et al.</i> (1979)	láncfűrész
	Pyykkö (1974)	láncfűrész
	Sutinen <i>et al.</i> (2006)	láncfűrész
	Takamatsu (1966)	láncfűrész
	Taylor és Pelmear (1976)	láncfűrész
	Taylor <i>et al.</i> (1971)	láncfűrész
	Taylor <i>et al.</i> (1974)	láncfűrész
<i>csont és izületi megbetegedések</i>	Futatsuka <i>et al.</i> (1969)	láncfűrész
	Horváth <i>et al.</i> (1969)	láncfűrész
	Miyashita <i>et al.</i> (1982)	láncfűrész
	Rafalski <i>et al.</i> (1977)	láncfűrész
	Saito <i>et al.</i> (1980)	fűkasza
	Yamada és Sakakibara (2001)	láncfűrész, fűkasza
<i>izom és idegrendszeri megbetegedések</i>	Färkkilä <i>et al.</i> (1980)	láncfűrész
	Färkkilä <i>et al.</i> (1986)	láncfűrész
	Futatsuka <i>et al.</i> (1969)	láncfűrész
	Futatsuka <i>et al.</i> (1980)	láncfűrész
	Laitinen <i>et al.</i> (1974)	láncfűrész
	Matsumoto <i>et al.</i> (1975)	láncfűrész
	Miyashita <i>et al.</i> (1982)	láncfűrész
	Miyakita <i>et al.</i> (1987)	láncfűrész
	Necking <i>et al.</i> (2004)	láncfűrész
	Saito <i>et al.</i> (1980)	fűkasza
	Yamada és Sakakibara (2001)	láncfűrész, fűkasza
<i>egyéb elváltozások</i>	Futatsuka (1969)	láncfűrész
<i>(fáradékonyság, magas vérnyomás, stb.)</i>	Laitinen <i>et al.</i> (1974)	láncfűrész
	Matoba <i>et al.</i> (1977)	láncfűrész
	Miyashita <i>et al.</i> (1983)	láncfűrész
	Pyykkö <i>et al.</i> (1986a)	láncfűrész

2.2.4. Dózis-hatás összefüggés a kéz-kar vibrációs szindróma kialakulásában

A rezgés emberre gyakorolt hatását számos tényező befolyásolja. A rezgés emberre gyakorolt kockázatának értékelésekor a dózis-hatás összefüggést vizsgálják, melyben a rezgésgyorsulás mértéke, a frekvenciája, az időtartama és az iránya a meghatározó faktorok (ISO 5349:2001), de az emberek egyéni érzékenysége is befolyásolja a vibrációs ártalmak kialakulását (Griffin 1990).

2.2.4.1. A frekvencia és a rezgés gyorsulás mértékének szerepe

Az emberi test nem egyformán érzékeny a különböző frekvenciájú rezgésekre; a legnagyobb érzékenység a 200-250 Hz-es tartományban tapasztalható (Griffin 1990, Walz 2008). A kéz-kar rendszer rezonancia frekvencia tartománya ennél alacsonyabb (az ujjak esetében 100-125 Hz, kéz esetében 30-50 Hz, amíg a kar esetében 5-10 Hz) (Brüel & Kjær 1989). A 70 Hz feletti rezgések a bőrben, valamint a bőr alatti kötőszövetben, a 30 Hz alattiak elsősorban a csontrendszerben nyelődnek el (Dong *et al.* 2005c, Pyykkö *et al.* 1976). A teljes energia legnagyobb része- 75-84% - a 8-50 Hz tartományban nyelődik el a kezekben, függetlenül a rezgés erősségétől (az effektív értéktől) és egyéb tényezőktől (Aldien *et al.* 2006). Néhány tanulmány kimutatta, hogy gép keltette, 200 Hz feletti frekvenciák energiája a kezekben lokalizálódik és nem terjed a test többi részére (Reynolds és Angevine 1977).

A kéz-kar rendszer frekvencia szerinti érzékenységeinek leképezésére az ISO 5349:2001 szabvány definiálja a W_h súlyozószűrőt, amely az alacsony frekvenciás rezgéseket nagyobb súllyal veszi figyelembe a súlyozott rezgés gyorsulás számításánál (M.1.(a) ábra, 1 melléklet). A szabvány kézre ható rezgések esetében a 8-1000 Hz közé teszi a káros rezgéseket.

Az egészséges személyek 50%-a akkor érzékeli a rezgést, ha az egész testre vonatkozóan z irányú súlyozott rezgés gyorsulás csúcserő eléri az $\hat{a} = 0.015 \text{ ms}^{-2}$ értéket (Walz 2008). Griffin (1982b) egy normál eloszlás görbével (ogival curve) írta le a fehér ujj szindróma megjelenésének gyakorisága és a súlyozott rezgés gyorsulás közti kapcsolatot (az idő és egyéb tényezők hatása nélkül). Az M.1.(b) ábráról (1. melléklet) leolvasható, hogy például 10 ms^{-2} r.m.s. súlyozott rezgés gyorsulás mellett 50% a fehér ujj szindróma megjelenésének gyakorisága.

2.2.4.2. A rezgés expozíció időtartamának és irányának szerepe

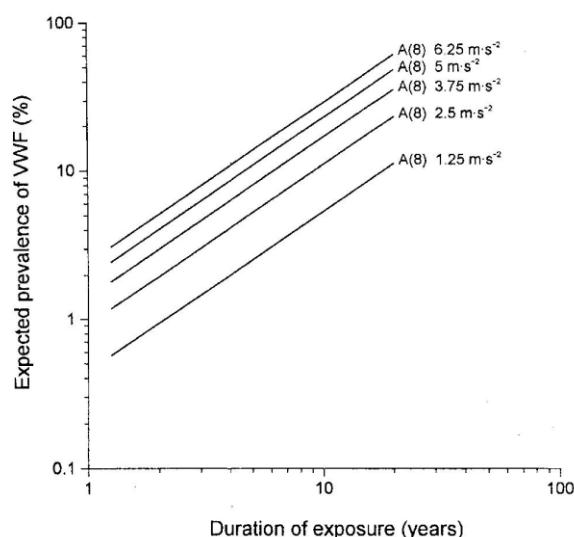
Az ISO 5349:2001 szabvány előírja a napi rezgés expozíció, $a_{hv(eq,8h)}$ vagy

A(8) számítását:

$$A(8) = \left[\frac{1}{T_{(8)}} \int_0^T [a_{hw}(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ahol a_{hw} a frekvencia szerinti súlyozott rezgés gyorsulás (lásd 2.3.2. fejezet) és $T_{(8)}$ 28800 s. A képletből levezethető, hogy kétszer akkora rezgés gyorsulás mellett, a napi rezgésterhelés is megduplázódik, ha a rezgésnek való kitettség (vagyis a rezgés expozíció) időtartama változatlan marad (például ha $a_{hw} = 4 \text{ ms}^{-2}$ 270 percig $\rightarrow A(8) = 3 \text{ ms}^{-2}$, míg $a_{hw} = 8 \text{ ms}^{-2}$ 270 percig $\rightarrow A(8) = 6 \text{ ms}^{-2}$).

Habár a rezgésexpozíció hosszát illetően, amely a kéz-kar szindróma kialakulását eredményezi, megoszlanak a vélemények, az biztos, hogy a napi rezgésterelések összeadódnak. Azt több kutatócsoport kimutatta, hogy láncfűrész használók körében az eszközhasználat idejének növekedésével nőtt a károsodás megjelenésének valószínűsége (Kákosy 1973, Matsumoto *et al.* 1977, Miyashita *et al.* 1982). A tünetek megjelenése 6 hét és 14 év közé tehető a rezgésgyorsulástól és a behatás időtartamától függően (Gemne 1997). Miyashita és kollégái (1983) epidemiológiai tanulmányukban rávilágítottak arra, hogy motorfűrészrel dolgozóknál a 2000 óra alatti összterhelés esetén zsibbadás, fájdalom jelentkezik a kezekben, viszont 8000 óra eszközhasználat felett már az érintettek felénél komoly, visszafordíthatatlan idegi és szervi elváltozások alakultak ki. Bovenzi és kollégái (1996) erdőmunkásokat vizsgáltak és úgy találták, hogy a fehér ujj betegség megjelenése és a behatás időtartama között (akár az A(8) érték, akár az években mért rezgésterhelési időtartam tekintetében) lineáris kapcsolat van (2. ábra).



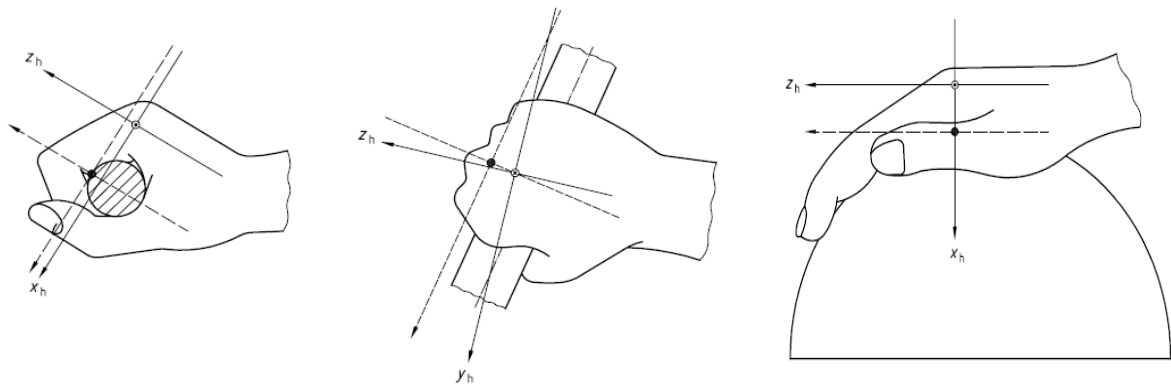
2. ábra A fehér ujj megbetegedés várható megjelenése erdőmunkásokat vizsgálva a napi 8 órára számított rezgésterhelés ($A(8)$, m s^{-2}) és a rezgésterhelés időtartama (D_y , év) függvényében (Bovenzi *et al.* 1996).

A rezgések emberre gyakorolt hatását összegző tanulmány (PD 12349:1997) azt írja, hogy a tünetek megjelenése előtti kumulált terhelés fordítottan arányos a rezgés magnitúdójával, vagyis ha a rezgés magnitúdója megduplázódik, akkor fele terhelési idő is elég az azonos tünetek megjelenéséhez. A napi rezgésexpozíciót felhasználva az ISO 5349:2001 szabvány az alábbi módon becslést ad arra, hogy adott rezgésgyorsulás mellett hány év alatt fejlődik ki fehér ujj szindróma a populáció tíz százalékánál (M.1.(c) ábra, 1. melléklet):

$$D_y = 31.8 [A(8)]^{-1.06} \quad (3)$$

ahol D_y az években mért összes terhelési idő. Ez alapján elmondható, hogy például napi 8 órás, 5 ms^{-2} rezgés gyorsulás mellett kevesebb, mint 6 év alatt jelentkezhet a megbetegedés.

Mivel az emberi test eltérő érzékenységet mutat a különböző irányú rezgésekre, ezért az ISO 5349:2001 meghatározza, hogy kézre ható rezgés esetén a rezgést olyan ún. báziscentrikus koordináta rendszerben kell mérni melynek középpontja a harmadik kézközép csont felszínén van és a z tengely pozitív iránya e csont hosszanti tengelyének a kézfejtől távolodó irányába mutat, miközben az x tengely merőleges a tenyérre, és pozitív iránya a tenyér alja felé mutat. Az y tengely iránya és értelme a jobbsodrású rendszer alapján adódik (3. ábra).



3. ábra A kéz koordinátarendszere (ISO 5349:2001).

2.2.4.3. A kéz-kar vibrációs szindróma kialakulását befolyásoló egyéb tényezők

Számos kutatás talált összefüggést egyéb tényezők, mint a dohányzás (Ekenvall és Lindblad 1989, Kákosy 1973), a kor, a nem (Neely és Burström 2006), a kézi gép kézben tartásának módja, vagy a környezeti hőmérséklet (Antonova 1969, Yamada és Sakakibara 2001) és a vibrációs ártalmak kialakulása között. Griffin (1997) kiemeli, hogy a rezgés amplitúdója, ideje, iránya és frekvenciája mellett a rezgő eszközzel érintkezésben lévő felület nagysága, a kéz által kifejtett kontakterő mértéke, a kéz és az ujjak pozíciója és a környezeti hatások is befolyásolják a kéz-kar rezgés hatását. Azt javasolja, hogy a fogantyúra gyakorolt szorítóerőt minimálisra kell csökkenteni, mivel az befolyásolhatja a rezgés kézre való átadódását, a kéz vérellátását, illetve a rezgő felülettel való érintkezési terület nagyságát. Ezt más tanulmányok is alátámasztották (Burström 1994, 1996, ISO 5349:2001, Griffin *et al.* 2006, Radvin *et al.* 1998). A rezgő eszköz kézben tartása és a súlya fokozza az izmok megfeszülését, ami ugyancsak hatással van a HAVS tünetek kialakulására (Yamada és Sakakibara 2001). Annak ellenére, hogy a rezgés-hatás-betegség kialakulásának pontos mechanizmusa máig nem ismert, azt minden kutató elismeri, hogy a személyes tényezők (inter-subject variability) és a személyek egyes helyzetekben való

eltérő reakciója (intra-subject variability) fontos tényező (Reynolds *et al.* 1977). Edwards és Holt (2006) kutatásában a személyes tényezők a rezgésterhelésből számított maximális használati időt nézve 52 %-os különbséget eredményeztek. A kéz nagysága, a kezelő karjának hossza, az eltérő szöveti felépítés mind valószínűsített forrása az egyes emberek eltérő válaszreakciójának (Griffin 1990). Burstöm (1996) szignifikáns összefüggést talált a vizsgált személyek kora, kézmérete, kézvastagsága és a kézben elnyelődött rezgési energia között, amikor az alanyokat különböző irányú és nagyságú rezgésekkel vizsgálta.

Habár a fent említett tényezők befolyásolhatják a HAVS kialakulását, jelenleg nincs olyan szabvány, amely meghatározná az ilyen faktorok mérésének módját (Griffin 1997).

2.3. Kertészeti kisgépek rezgésterhelése

2.3.1. Bevezetés

A kertészetben számos olyan kézben tartott motoros szerszámot alkalmaznak, amelynek használata során kézre ható vibráció jelentkezik. A munkavállalót ért rezgésterhelés mértékét vagy a munkafolyamat közbeni méréssel, vagy a gyártó által, új gépre meghatározott rezgés kibocsátási adatból becsléssel lehet meghatározni (CEN/TR 15350:2006). Az 2006/42/EK irányelv a gépek biztonságáról előírja, hogy minden eszköz használata utasításban fel kell tüntetni a gyártó által meghatározott rezgés kibocsátás értékét, továbbá a K bizonytalansági tényezőt (ms^{-2}), amely az alábbi módon számítható (EN 12096:1997):

$$K = 1.65\sigma_R \quad (4)$$

ahol σ_R a különböző körülmények között mért, ismételt rezgés kibocsátás értékek szórása. Abban az esetben, ha σ_R nincs megadva, úgy az alábbi képlettel lehet számolni:

$$\sigma_R = \left[\sigma_{op}^2 + \sigma_{rec}^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

ahol σ_{rec} az egy kezelővel végzett mérések szórása és σ_{op} a különböző gépkezelőkkel végzett mérések szórása.

A gyártó által megadott értékek vagy a szóban forgó kézi gépen, szimulált munkakörülmények között mért adatok, vagy egy, műszakilag a gyártandó géppel összehasonlítható gépen végzett mérések alapján meghatározott adatok. Több kutatás rávilágított arra, hogy a szabványos, laboratóriumi körülmények között végzett rezgés kibocsátás mérések nem tükrözik a tényleges használat során jelentkező vibráció mértékét (Edwards és Holt 2006, Griffin 1997, Shanks 2007, Vergara *et al.* 2008). Rimmel és kollégái 105 kézi gép rezgés kibocsátását vizsgálták üzemi körülmények között és

hasonlították össze a gyártó által megadott adatokkal (elsősorban építőipari kisgépeket). Úgy találták, hogy a gyártók által megadott rezgésértékek alacsonyabbak voltak, mint a valós munkahelyzetben keletkezett rezgések (Rimmel *et al.* 2008). Egy másik vizsgálat arra a megállapításra jutott, hogy az azonos kategóriájú, de eltérő gyártmányú eszközök rezgés kibocsátása alapján a napi megengedett rezgésterhelés időtartamában, a határérték eléréséig, akár 240 %-os eltérés is adódhat (Edwards és Holt 2006). Egyértelmű tehát, hogy az új gépekre megadott rezgés kibocsátás és a használatban lévő eszköz keltette rezgésterhelés között eltérés adódhat.

Ebben a fejezetben az irodalmi adatokra támaszkodva a kertészetben alkalmazott motoros kéziszerszámok által keltett, kezelőt érő rezgésterhelés kerül bemutatásra. A vibrációs határértékekre és speciális gépekre vonatkozó előírásokat a 2.4 fejezet összegzi.

2.3.2. ISO 5349 – A kézre ható rezgés megítélése

A kézre ható rezgések mérése és megítélése az ISO 5349:2001 szabvány alapján történik. A mérést olyan műszerekkel végzik, amelyek megfelelnek az ISO 8041:2005 szabvány követelményeinek. A rezgés erősség elsődleges jellemzőjeként a frekvencia szerinti súlyozott rezgés gyorsulást, a_{hw} vagy az oktáv-, illetve tercávonkénti rezgés gyorsulást, a_{hi} valamint a csúcsértéket, $\hat{a}$ kell mérni báziscentrikus koordináta rendszerben az 5,6-1400 Hz frekvenciatartományban (6,3-1250 Hz középfrekvenciájú tercávokban) az alábbiak szerint:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (6)$$

ahol W_{hi} a súlyozó tényező az i -edik tercávban (lásd 1. melléklet) és a_{hi} az r.m.s. rezgés gyorsulás mértéke, az (1) képlet alapján számolva, az i -edik tercávban (ms^{-2}). Az x , y és z tengely mentén mért súlyozott rezgés gyorsulások eredője, vagyis a súlyozott teljes rezgés gyorsulás, a_{hv} (ms^{-2} r.s.s.) az alábbi képlettel számolható:

$$a_{hv} = \left[(a_{hwx})^2 + (a_{hwy})^2 + (a_{hwz})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

ahol a_{hwx} , a_{hwy} és a_{hwz} az x , y , és z tengely mentén mért súlyozott rezgés gyorsulás (ms^{-2} r.m.s.). (Abban az esetben, ha nem triaxiális méréssel, hanem csak egy, vagy kétirányú méréssel határozták meg a kézre ható rezgést, akkor a mért a_{hw} értéket/értékeket egy korrekciós tényezővel kell megszorozni, amelynek az értéke 1 és 1.73 között változik).

A szabvány nem határoz meg konkrét mérési időtartamot; azt írja elő, hogy az időtartam megválasztása függ a jeltől, az eszköztől és a működtetéstől, de a teljes mérési idő (az ismétlések száma * a mérési idő) minimum 1 perc kell, hogy legyen.

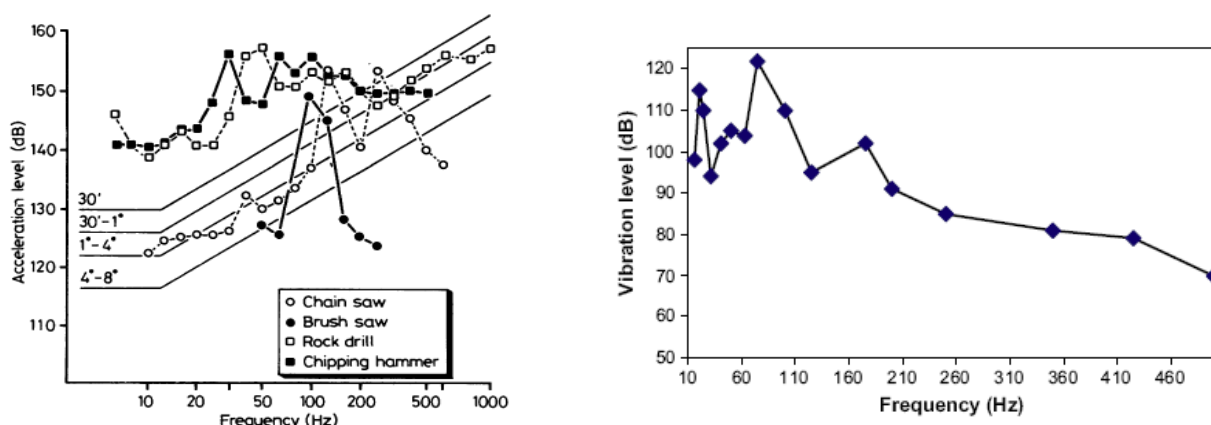
2.3.3. Kerti motoros kéziszerszám-kezelőt érő rezgésterhelés

Annak ellenére, hogy a 2.2.2. fejezetben bemutatott irodalmi adatok alapján a mezőgazdaságban, kertészetben, erdészetben több tízezrek érintettek a kézre ható rezgésben, ez idáig meglehetősen kevés kutatás folyt nemcsak az ezen a területen alkalmazott gépek rezgés kibocsátását, de a gépekkel dolgozókat érő rezgésterhelést illetően is. A vizsgálatok elsősorban láncfűrészek súlyozott rezgés gyorsulásának mérésére korlátozódtak.

Az utóbbi években az Európai Unió több, nagyszabású projektet is finanszírozott kézre ható rezgés témakörben. A VINET (2003) (Research network on detection and prevention of injuries due to occupational vibration exposures) program keretében létrehoztak egy adatbázist, amelyben 2500 eszköz méréssel meghatározott rezgés kibocsátását összegezték. Az adatbázisban mindösszesen 37 kerti eszköz adata került feltüntetésre. A kéz-kar rezgést tesztelő központ HAVTEC-OPERC (2007) adatbázisában egyáltalán nincs vizsgált kertészeti kisgép. Az EU VIBRISK projektje keretében (Risks of Occupational Vibration Exposures) több országban vizsgálták fűkaszák és láncfűrészek rezgés kibocsátását és rezgésterhelését. Az eredmények azt mutatták, hogy ezen eszközök gépkezelőt érő rezgésterhelése meghaladta a napi megengedett expozíciós határértéket, ami négyzetes középértékben mérve 5 ms^{-2} (fűkaszák súlyozott rezgés gyorsulása 5.7, míg a fűrészeké 5.2 és 5.5 ms^{-2} r.m.s között változott) (VIBRISK 2007). Hasonló eredményre jutottak más tanulmányok is (Bovenzi 1998b, Griffin 1990, Griffin *et al.* 2003, Calvo és Deboli 2004, Mallick 2008). Több kutatásban megállapították továbbá, hogy - különösen a láncfűrészek esetében - az a_{hv} akár a 10 ms^{-2} r.m.s értéket is meghaladhatja (Griffin 1990, Nietzel és Yost 2002, Pyykkö *et al.* 1986b). Sövényvágókkal, fűvágókkal és egyéb kerti szerszámokkal valós, munkakörülmények között végzett összehasonlító vizsgálatokról nincs adat a szakirodalomban.

Bár a 2.2.4. fejezetben bemutatottak alapján egyértelmű, hogy a gépek keltette rezgés spektruma meghatározó szerepet játszik a károsodások kialakulásában, szinte alig folyt ilyen vizsgálat a kertészeti gépek vonatkozásában. Ezen ismeret hiányában előfordulhat, hogy habár az eszköz teljes rezgésterhelése nem haladja meg a határértéket, egyes, a kéz-kar rendszer szempontjából fontos frekvenciákon jelentős terhelés lép fel. Mivel a kézi eszközök rezgés kibocsátása dominánsan a 10-1000 Hz frekvenciatartományban esik (ISO 5349:2001), ez fokozott kockázatot jelent a használó szempontjából. A néhány tudományos vizsgálat azt mutatta, hogy mind a láncfűrészek, mind a fűkaszák esetében a legnagyobb rezgés gyorsulás értékek dominánsan az alacsonyabb frekvenciákon jelentkeztek; Griffin

(1990, 1997, 1998), Horváth és kollégái (2005), Pyykkö és kollégái (1986b), Szepesi (1963), Szepesi és kollégái (1985, 1986) a láncfűrészek maximális rezgés kibocsátását a 100-125 Hz tartományban mérték. Ez főként az ujjakra nézve fokozza a károsodás kockázatát (Dong *et al.* 2008, Griffin 1990). Futatsuka és kollégái (1985) láncfűrész és fűkasza rezgésterhelését vizsgálták és megállapították, hogy a fűkaszák legnagyobb gyorsulásértékei a 31,5-100 Hz tercsávban jelentkeztek (lásd 4. ábra). Tudor (1996) és Mallick (2009) által vizsgált fűkaszák domináns rezgés kibocsátása szintén az alacsonyabb, 50-125 Hz oktáv sávban figyelték meg (4 ábra).



4. ábra Láncfűrészek és fűkaszák vibrációs spektruma (bal – láncfűrész (chainsaw) és fűkasza (brush saw) spektruma; Futatsuka *et al.* 1985 tanulmányából, jobb – fűkasza spektruma; Mallick 2009 tanulmányából).

2.3.4. Kerti motoros kéziszerszámok rezgésterhelését befolyásoló tényezők

A kisgépek rezgés kibocsátásának vizsgálatára vonatkozóan számos szabvány létezik (lásd 2.4 fejezet), amelyek azonban egy nem feltétlenül reprezentatív, szimulált munkakörülmények közötti vizsgálatot írnak elő. Az ISO 5349:2001 szabvány és a CEN/TR 15350:2006 is megjegyzi, hogy a kézre ható rezgés mérését számos, az előírásokban nem részletezett tényező befolyásolhatja, úgy, mint a testhelyzet, az eszköz fogantyújának szorító ereje, hőmérséklet stb.

Mallick (2008) fűkaszák kézre ható rezgésterhelését vizsgálta három különböző kézben tartási pozíció viszonylatában. Azt is vizsgálta, hogy a vágófej damil hossza, a motor fordulatszáma és a vágófej földdel bezárt szöge hatással van-e a kézre ható rezgésterhelésre. Megállapította, hogy mindegyik paraméter szignifikánsan befolyásolja a kezelőt ért rezgésterhelést, függetlenül az eszköz kézben tartásának módjától. A fogantyú és az eszköz megragadásának módja akár 35 %-os különbséget is jelenthet a rezgésterhelés szempontjából. A minimális kézre ható rezgéshez Mallick (2009) megállapította az

optimális üzemeltetési kondíciókat is (170 mm hosszú damil, 3000 ± 400 rpm motor fordulatszám és a kaszafej földhöz képest 45° -os szöget zár be). Egy másik tanulmányban azt találták, hogy a motoros fűkasza esetében a kézre átadódó rezgésben legnagyobb befolyásoló szerepe az eszköz fogantyú anyagának van. E mellett a motor fordulatszáma és a vágódamil hossza meghatározó (Mallick 2009). Tudor (1996) szintén benzinmotoros fűkaszákat vizsgált különböző damil kialakítással (egy-két szálás) és fogantyúval. Megállapította, hogy a vágófej kialakítása és a fogantyú helyzete és típusa (egykezes/kétkezes) jelentősen befolyásolja a kézre ható rezgés mértékét, a kézre hatás irányát és helyét.

Nietzel és Yost (2002) láncfűrészeket vizsgált és megállapította, hogy a különböző munkafolyamatok (alapjárat, fakidöntés, gallyazás, stb.) eltérő rezgésterhelést jelentenek a gépkezelő számára. Az alapjárat és munkamenet, illetve az első és hátsó fogantyú közötti rezgés kibocsátás eltérést más vizsgálatok is bemutatták (Szepesi *et al.* 1988).

Annak ellenére, hogy egy eszköz megfelel az előírásoknak, a használat során a kopás, a rezgés csillapító betétek elhasználódása, a hiányos karbantartás azt eredményezheti, hogy az eszköz rezgés kibocsátása megnő. Az Erdészeti Tudományos Intézet öt éven keresztül mérte láncfűrészek rezgésgyorsulás értékeit és megállapította, hogy ez idő alatt az első fogantyún mért rezgés 20%-kal emelkedett. A vibrációs szűrővizsgálatok során az is kiderült, hogy a rendszeres karbantartás 20-30%-kal csökkentette egy üzem összes gépére számított rezgés-átlagát (Szepesi *et al.* 1986).

Az utóbbi néhány évtizedben a fejlesztéseknek köszönhetően számos anti-vibrációs rendszer került beépítésre a különböző kézi szerszámokba, melyek hatására a kézre ható rezgésterhelés jelentősen csökkenhet (lásd bővebben a 2.5.2. fejezetben).

2.4. Szabványok és határértékek

2.4.1. Bevezetés

Mint ahogy az előzőekben már bemutatásra került, számos olyan tényező van, amely közrejátszik a kéz-kar vibrációs betegség kialakulásában. A rezgésemissziós tényezők azok, amelyek meghatározása elengedhetetlen a rezgésmérés szempontjából (például a rezgésterhelés időtartama). A terheléssel kapcsolatos tényezők azok, amelyek feltételezhetően növelik a károsodások kockázatát (például a hideg munkakörnyezet). Végül a személyes tényezők azok, amelyek változnak a használatól függően (például a kéz nagysága). Mivel a tényezők egymásra való hatása és károsodás kialakulásával kapcsolatos ismeretek máig hiányosak, nehéz meghatározni egy biztonságos határértéket.

2.4.2. Kisgépek rezgés kibocsátásának mérésére vonatkozó szabványok

A szabványok egy nagy csoportja rendelkezik az egyes eszközök rezgés kibocsátásának méréséről. Ezen szabványok célja, hogy a mérési mód és körülmények meghatározásával elősegítse az eszközök különböző laboratóriumokban végzett mérésének összehangját. Az ISO 8662:1988, ISO 22867:2008 és ISO 20643:2008 szabványsorozat megfelelő részei rögzítik a kertészetben használatos gépek rezgés kibocsátásának mérési menetét a hordozható motoros kéziszerszámok fogantyúján. Ezek a szabványok adják az alapot a gyártó által elvégzett rezgés kibocsátás vizsgálatokhoz.

2.4.3. Kézre ható rezgés mérésére vonatkozó szabványok

Az 1970-es évek elején több - Csehszlovák és Japán - ajánlás született egy nemzetközi szabvány kidolgozására a kézre ható rezgés és dózis-hatás összefüggésének vizsgálatára. Az első nemzetközi szabvány csak 15 évvel később, 1986-ban lépett életbe. Ennek átdolgozott kiadása a ma használatban lévő ISO 5349:2001 szabvány a rezgések hatásának mérése és értékelése az ember kéz-kar rendszerére. A szabvány leírja a kézre ható rezgésterhelés mérésének módját és az eredmény kiértékelésének menetét. Ez a szabvány általános érvényű a munkahelyi rezgések vonatkozásában.

2.4.4. A kéz-kar vibráció mértékére vonatkozó előírások

Az Európai Unió a 2002/44/EK irányelvben rögzíti a minimális egészségügyi és munkabiztonsági követelményeket a munkavállalót ért rezgésterheléssel kapcsolatban. Az irányelv két határértéket állapít meg napi 8 órás munkavégzés mellett: (i) a napi beavatkozási (prevenciósnak is nevezett) határérték (ELV) 2.5 ms^{-2} , míg (ii) a napi expozíciós határérték 5 ms^{-2} . Amennyiben a kezelőt ért terhelés meghaladja az első értéket, a munkáltatónak lépéseket kell tennie a rezgéscsökkentés érdekében (lásd 2.5. fejezet). A 8 órás napi terhelés nem lépheti túl az expozíciós határértéket (2002/44/EK). A különböző napi rezgésterhelési időszakoknak megfelelő maximálisan megengedett rezgésterhelést (kéz-kar és egésztest vibrációra) a 2. táblázat összegzi.

A 22/2005 (VI.24.) EüM rendelet a rezgés expozíciónak kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és munkabiztonsági követelményekről rögzíti az előbb bemutatott határértékeket. (A napi megengedett expozíciós határérték napi 8 órás referencia időszakra vonatkoztatva, r.m.s.-ben mérve, 5 ms^{-2} , nedves munkakörnyezetben 2.5 ms^{-2} , és az S időállandóval mért legnagyobb súlyozott rezgésgyorsulás nem lépheti túl az 50 ms^{-2} -et.

A prevenciós határérték 2.5 ms^{-2} .) A kéz-kar rezgésexpoziáció meghatározása és értékelése az ISO 5349:2001 szabvány alapján történik.

Az EU gépekről szóló 2006/42/EK irányelve rendelkezik arról, hogy EC jelzés (megfelelőségi nyilatkozat) használatához a gyártónak *”...a gépet úgy kell megtervezni és gyártani, hogy a gép által létrehozott rezgésekből adódó veszélyek a legalacsonyabbak legyenek, különösen a rezgés forrásánál... A hordozható kézi és/vagy kézi irányítású gépek által kibocsátott rezgésekre vonatkozóan a használati utasításnak az alábbi információkat kell tartalmaznia: a kart terhelő rezgés súlyozott négyzetes középértékét, amennyiben az nagyobb, mint $2,5 \text{ m/s}^2$. Ha a gyorsulás értéke nem haladja meg a $2,5 \text{ m/s}^2$ -t, akkor erre utalni kell.... Ezek az értékek vagy a szóban forgó gépen ténylegesen mért adatok, vagy egy, műszakilag a gyártandó géppel összehasonlítható gépen történt mérés eredményeképpen kapott adatok.”*

2. táblázat Kéz-kar (hand transmitted vibration) és egésztest (whole body vibration) rezgésre vonatkozó beavatkozási (exposure action) és expoziációs (exposure limit) határértékek különböző napi rezgésterhelési időszakra (2002/42/EK alapján).

Exposure duration	Hand transmitted vibration		Whole body vibration			
	Exposure action value	Exposure limit value	Exposure action value	Exposure limit value	Exposure action value	Exposure limit value
	r.m.s. method	r.m.s. method	r.m.s. method	VDV method	r.m.s. method	VDV method
1s	424.26	848.53	84.85	6.51	195.16	14.98
10s	134.16	268.33	26.83	3.66	61.72	8.42
1m	54.77	109.54	10.95	2.34	25.20	5.38
10m	17.32	34.64	3.46	1.32	7.97	3.03
1h	7.07	14.14	1.41	0.84	3.25	1.93
2h	5.00	10.00	1.00	0.71	2.30	1.63
4h	3.54	7.07	0.71	0.59	1.63	1.37
8h	2.50	5.00	0.50	0.50	1.15	1.15
12h	2.04	4.08	0.41	0.45	0.94	1.04
16h	1.77	3.54	0.35	0.42	0.81	0.97
24h	1.44	2.89	0.29	0.38	0.66	0.87

2.5. Rezgésvédelem

2.5.1. Bevezetés

A rezgésvédelem célja a rezgéskeltés csökkentése (elsődleges rezgésvédelem), és a gerjesztett rezgések átvitelének, valamint személyekre, illetve tárgyakra kifejtett hatásának mérséklése (másodlagos rezgésvédelem). A rezgésvédelmi intézkedések azon intézkedések összessége, amelyek a rezgésvédelmi célok elérésére, vagyis a kedvezőtlen rezgések és/vagy következményeik megelőzésére, vagy leginkább a mérséklésre, és/vagy

ellenőrzésre alkalmaznak (Walz 2008). Az intézkedésekkel összefüggésben alkalmazni kell a szervezési folyamat általános modelljét (ún. hatlépcsős modell), mely a következő: (a) célok meghatározása, (b) helyzetfelismerés, (c) megoldási vázlatok kidolgozása, (d) döntés, (e) bevezetés, (f) ellenőrzés. Az alapelv az, hogy már az eszköz tervezésekor figyelembe kell venni a rezgésvédelmi szempontokat. Az alábbi fejezet a különböző rezgésvédelmi intézkedésekről ad rövid összefoglalót.

2.5.2. Rezgésvédelmi intézkedések

2.5.2.1. Rezgéscsökkentés

A vibráció leghatékonyabban magánál a forrásnál csökkenthető, de általában ez jelenti a legnagyobb kihívást a tervezők számára. Ha a mechanikai rezgő rendszert tömeg-rugó-csillapító elemekkel jellemezzük, akkor a passzív rezgéscsökkentésre három megoldás adódik:

- i) tömeg (m , kg) növelése, amely elsősorban a magasabb frekvenciáknál hatékony,
- ii) csillapító elem csillapítási tényezőjének (r , Nsm^{-1}) növelése, melynek segítségével a gép rezonanciafrekvenciája tartható kézben,
- iii) a rugalmas elem rugóállandójának (mN^{-1}) változtatása, amely alacsony frekvencián hatékony (Fahy és Walker 1998).

A gyakorlati életben a kézi eszközök tömegének növelése nem célszerű, ezért elsősorban a másik két megoldást alkalmazzák. Az anyagválasztással (acél helyett megfelelő műanyag), vagy a forgó részek dinamikus kiegyensúlyozásával befolyásolható a gép rezgésterhelése. Tudor (1996) a vágódamil helyzetének szerepét vizsgálta egy benzinmotoros fűkasza rezgés kibocsátására. Úgy találta, hogy amikor a damil a vágófejben szimmetrikusan volt rögzítve (két damilszál végzi a vágást), akkor a rezgésterhelés 79 %-kal volt kisebb (a domináns frekvencián) az aszimmetrikus rögzítéskori eredményhez képest (egy damilszál vág). Mindez az egy damilszálás vágófejben ébredő kiegyensúlyozatlanság miatt jelentkezett (Tudor 1996).

Az aktív rezgéscsökkentés azon alapul, hogy a rezgéshullámok között gyengítő hatású interferenciát hoznak létre, a rendszerre ható gerjesztő erők változtatásával, amely főként kis- és középfrekvencián hatékony.

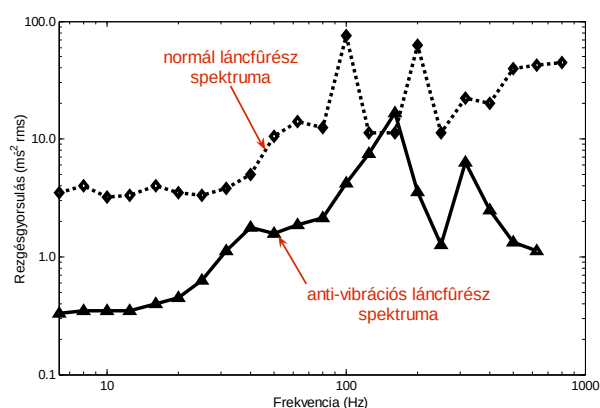
2.5.2.2. Rezgéscsillapítás

A rezgéscsillapítás a kibocsátott rezgési energia hőként való elnyelését, vagy más energiafajtvá váló átalakítását jelenti különböző anyagokkal és szerkezetekkel (Walz

2008). A csillapítás alapulhat az anyagszerkezet, a mechanikai hiszterézis vagy a belső súrlódás megváltozásán, az anyagban (szilárd vagy folyékony) ébredő deformálódás hatására (Vér és Beranek 2006). A viszko-elasztikus tulajdonsággal rendelkező anyagok a frekvencia vagy a hőmérséklet hatására megváltoztatják a merevségüket és a rezgő rendszerhez kapcsolva (csillapító anyagréteg vagy szendvicslemez formában) csökkentik a vibrációt. A mágneses reológiai tulajdonságú folyadékok alkalmazása (félaktív rezgéscsökkentés, Brennan 2008) például traktorülések rezgéscsillapító berendezésében jellemző és kiváló lökéscsillapító tulajdonsággal bír.

2.5.2.3. Rezgésszigetelés

A rezgésszigetelés egy bizonyos frekvenciatartományban a rezgések terjedésének befolyásolása a terjedési útvonalba beiktatott rezgésszigetelőkkel, vagy mechanizmusokkal. A használt anyagok általában rugalmas, kis merevségű tulajdonsággal bírnak és működési mechanizmusukat tekintve szintén a deformáció elvén működnek. Kertészeti kisgépek esetében az anti-vibrációs rendszerek a rezgésszigetelés elvén működnek; különböző anyagú rugókat, alátéteket illesztenek például a gépházba vagy a fogantyú csatlakozásához (M.1.(d) ábra, 1. melléklet). Forgó mozgást végző gépek esetén a gyakorlatban a fordulatszámtól függően 600 min^{-1} -ig acélrugót, 600-1500 min^{-1} között gumirugót és 1500 min^{-1} felett parafát használnak (Walz 2008). Az 5. ábra normál és anti-vibrációs rendszerrel felszerelt láncfűrész rezgés gyorsulás értékeit mutatja a frekvencia függvényében.



5. ábra Normál és anti-vibrációs rendszerű láncfűrész r.m.s. rezgés gyorsulása tercsávonként (Pykkö et al. 1986b, Griffin 1997).

Annak ellenére, hogy a motor keltette rezgéseket ezek a szigetelőelemek hatékonyan csökkenthetik, a kézre ható rezgés mértékét nem feltételül szorítják a határérték alá (Pykkö et al. 1978). A szigetelő elemek például láncfűrészknél 125 Hz felett csillapítják a rezgéseket, de alacsonyabb frekvencián növelik a kézre ható rezgés mértékét (Griffin

1990). Koskimies és kollégái (1992) 18 évet átfogó vizsgálata láncfűrészek rezgésterhelésének változásáról megállapította, hogy habár a 14 ms^{-2} rezgésgyorsulás lecsökkenhet 2 ms^{-2} értékre, az izom jellegű vibráció előidézte károsodások továbbra is jelen voltak. Hasonló eredményre jutottak Kivekäs és társai (1994) és Sutinene és társai (2006).

Nemcsak a motor elhatárolása, hanem a kéz elszigetelése az eszköztől is csökkenti a kézre ható rezgést. Cherian és kollégái (1996) egy rezgésszigetelő rendszert modellezett, amely a kézhez kapcsolódott és megállapították, hogy az 22%-kal csökkentette a kézre ható teljes rezgésterhelést. Filc vagy parafa borítás éppen ezért gyakran kerül a rezgést keltő eszköz fogantyújára. Az anti-vibrációs kesztyű szintén egy alternatíva a rezgésszigetelésre (lásd bővebben a 2.5.3. fejezetben).

2.5.2.4. Rezgésexpozíció idejének csökkentése

A maximális napi rezgésterhelés számításánál figyelembe kell venni a rezgés erőssége és az expozíció hossza közti összefüggést. Az (1)-(2) képletből látható, hogy a rezgés amplitúdójának felére csökkentése, az expozíció megengedett hosszának megnégyszereződését jelenti. Ha tehát alacsonyabb rezgés kibocsátású eszközt alkalmaznak, növelhető az eszközzel végzett munkafázis hossza. A másik megoldás a munkafázis megszakítása pihenőidőkkel. Ennek hatása kettős: egyrészt lehetővé teszi az egészségügyi hatásokból való részleges regenerálódást, másrészt csökkenti a rezgésterhelés teljes idejét. Saito (1987) kimutatta, hogy japán erdőmunkások kéz-kar szindrómás betegsége minimalizálható, ha a napi munkaidő korlátozása mellett, maximum 10 perces ciklusokban dolgoznak a láncfűrészszel. Az erdészeti biztonsági szabályzatra vonatkozó 15/1989.(X.) MÉM rendelet rögzíti, hogy erdészeti munka esetén egyazon személy egyfolytában maximum két órán át dolgozhat benzinmotoros láncfűrészszel (3 órán át elektromossal). Azt is kiköti, hogy a fűrészeléssel töltött időszakot legalább háromszor (elektromos láncfűrészszel kétszer) olyan hosszú időtartamú más tevékenységnek kell követnie.

A rezgés előidézte egészségügyi károsodások egy része visszafordítható, ha felhagynak a vibrációt kibocsátó eszköz használatával (Färkkilä *et al.* 1986, Ogasawara *et al.* 1997). Steward és Goda (1970) úgy találta, hogy a vizsgált esetek 30 %-ában 5 év után megszűntek a fehér ujj szindróma tünetei. Egy másik tanulmányban Dupuis és Riedel (1995) 240 kéz-kar rezgésnek kitett egyént vizsgált 6 éven keresztül és megállapította, hogy a rezgést gerjesztő eszközzel való munka felhagyását követően 54 %-uknál javulás mutatkozott a kéz-kar vibrációs szindróma tüneteiben. Laroche (1976) ugyanakkor

kiemelte, hogy javulás csak akkor várható, ha a rezgésterhelés megszüntetése a kéz-kar vibrációs szindróma korai szakaszában történik. Pyykkö és kollégái (1981) azt javasolták, hogy erdőmunkások esetében a fehér ujj szindrómából való felépüléshez legalább annyi időre van szükség, amennyi a kialakulásához kellett. Kiemelték, hogy a kézzsibbadás és az érzékeléscsökkenés még a rezgésterhelés megszűnését követően, évekkel később is jelen lehet.

2.5.2.5. Egyéb védőintézkedések

A képzés, tájékoztatás nemcsak az eszközök helyes használatára vonatkozik, hanem a veszélyekre való figyelemfelhívásra és a védőeszközök alkalmazására is. Fűkaszák esetében például az eszköz nem előírászerű tartása munkavégzés közben a gép rezgés kibocsátásának emelkedését eredményezi (Tudor 1996). Az eszközök időszakos felülvizsgálatával kiszűrhető a műszaki állapot változása, mely hatással lehet a rezgés kibocsátásra (Szepesi *et al.* 1986). A rendszeres orvosi ellenőrzéssel korán megállapítható egy esetleges elváltozás (Griffin 1990). A munkaköri, szakmai alkalmasság orvosi vizsgálatára vonatkozó jogszabály a rezgés gyorsulás mértékétől függően időszakos - általában két évente- alkalmassági vizsgálatot ír elő (33/1998. VI.24. NM rendelet). Az egyéni védőeszközök használatával, mint az anti-vibrációs kesztyű, valamint a kezek melegben tartásával – fűthető fogantyú alkalmazása- szintén csökkenteni lehet a megbetegedések kialakulásának kockázatát. Az alacsonyabb rezgésterhelésű eszközök alkalmazása is befolyásolja a tünetek megjelenését. Jetzer és kollégái (2003) alacsony rezgésterhelésű láncfűrészek hatását vizsgálták 4 éven keresztül. Azt találták, hogy a 2.5 ms^{-2} értéknél kisebb rezgésterhelésű eszközt használók körében 73 %-kal csökkentek a tüneti megjelenések, amely eredményt a klinikai vizsgálatok is alátámasztották.

2.5.3. Az anti-vibrációs kesztyű

2.5.3.1. Bevezetés, az anti-vibrációs kesztyű típusai

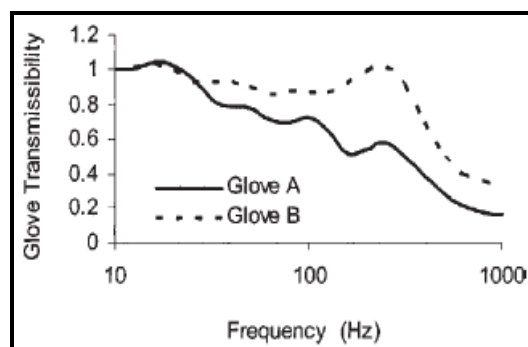
Mivel egyre többen érintettek a kézre ható rezgésben és annak következményeiben, az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb figyelem irányul a rezgéscsökkentés olcsó, alternatív megoldásai felé. Az anti-vibrációs kesztyű egy olyan egyéni védőeszköz, amely a töltet révén csillapítja a kézre ható rezgés mértékét. E mellett elősegíti a kézfej melegen és szárazon tartását is. A hideg, nedves környezet a megbetegedések szempontjából kockázati tényező (Griffin 1990).

Jelenleg a forgalomban lévő kesztyűket négy csoportba lehet besorolni (Hewitt 2002):

- Műanyag borítású zselatin és hab keverék töltettel,
- Nitrilgumi borítású hab vagy gél töltettel,
- Puha bőr hab vagy gél töltettel
- Puha bőr felfújható légpárnával.

Az egyes anyagoknak és kialakításoknak (ujjakat fedő/félig fedő, csuklót védő, stb.) köszönhetően a kesztyűk kézre ható rezgést csökkentő (frekvencia specifikus) hatékonysága változó. Annak ellenére, hogy számos változat és design használatos, az anti-vibrációs kesztyűk nem biztosítanak kellő rezgéscsillapítást 150 Hz alatt (Griffin 1990, Rakheja *et al.* 2002). Dong és kollégái (2005b) megállapították, hogy a kesztyű elsősorban a magasabb frekvenciatartományban csökkenti a kézre ható rezgéseket, az alacsony frekvenciákon azonban növeli. A 6. ábra két anti-vibrációs kesztyű rezgésátvitelét (transmissibility) mutatja a frekvencia függvényében. Amikor a rezgésátvitel értéke nagyobb 1-nél, akkor a kesztyű növeli a kézre ható rezgést, míg 1 alatti értéknél csökkentésről beszélünk.

Az ISO 10819:1996 szabvány specifikálja az anti-vibrációs kesztyűkre vonatkozó követelményeket. Ahhoz, hogy egy kesztyű anti-vibrációs megjelöléssel kerüljön forgalomba és megkapja a CE jelzést, teljesítenie kell a szabványban foglalt előírásokat (Pinto *et al.* 2001). A mérési módszer azon alapszik, hogy a kesztyű nem változtatja meg a kéz-kar rendszer biodinamikus jellemzőit, és a kesztyű-kéz-kar rendszer rezgésre adott válaszreakciója lineáris.

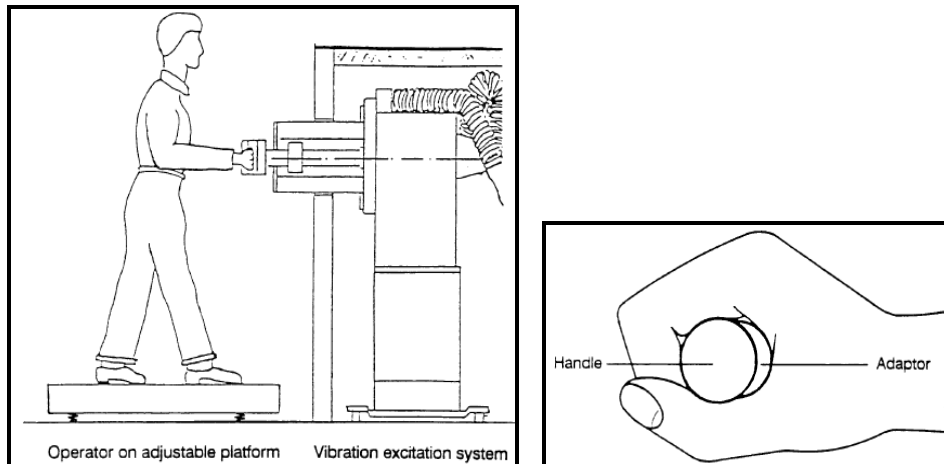


6. ábra Két anti-vibrációs kesztyű kézre ható rezgést csökkentő profilja a frekvencia függvényében (Dong *et al.* 2005b).

A kesztyűk töltetének rezgéscsillapítására vonatkozó vizsgálati eljárást külön szabvány, az ISO 13753:1998 szabályozza.

2.5.3.2. ISO 10819:1996 – Az anti-vibrációs kesztyű kritériuma

Az ISO 10819:1996 szabvány definiálja az anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítási tulajdonságának mérését. A vizsgálathoz két, M és H megnevezésű, szabványban jellemzett rezgésspektrumot használnak. A mérésben résztvevő személy megragad egy függőleges helyzetű henger alakú fogantyút (40mm átmérőjű, 110mm hosszú). Ez egy vízszintes helyzetű rezgéskeltő egységhez (shaker) kapcsolódik, amely méri a kéz szorító ($30\text{ N} \pm 5\text{ N}$) és nyomóerejét ($50\text{ N} \pm 8\text{ N}$).



7. ábra Kesztyűt tesztelő személy pozíciója és a speciális adapter kézben tartásának módja (ISO 10819:1996).

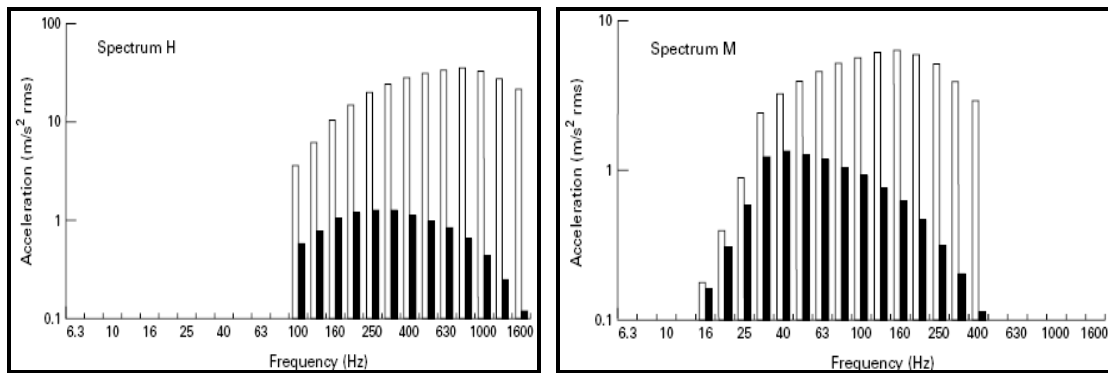
Az alkar vízszintes és párhuzamos a gerjesztett rezgés irányával, míg a csukló 0° és 40° közti szöget zár be a fogantyúval. A rezgéskeltő egység biztosítja a kívánt rezgés keltését meghatározott időtartamig, z irányban. A kézre ható rezgés mérésére egy speciális, miniatűr gyorsulásérzékelővel felszerelt adaptert tart a tenyerében a tesztszemély (7. ábra).

A kesztyű rezgésátvitelének meghatározására a rezgéskeltő egység által előidézett rezgést egy időben mérik a fogantyún és a kesztyű belsejében. A rezgés gyorsulás értékek frekvencia szerint súlyozottak az előzőekben ismertetett W_h szűrővel. A rezgésátvitel értéke (TR), amely a rezgéscsillapítás mértékére utal, az alábbi képlettel számolható:

$$TR = \frac{a_{k\acute{e}z}}{a_{foganty\acute{u}}} \quad (8)$$

ahol $a_{k\acute{e}z}$ a súlyozott rezgés gyorsulás (ms^{-2} r.m.s.) a tenyerben mérve és $a_{foganty\acute{u}}$ a súlyozott rezgés gyorsulás (ms^{-2} r.m.s.) a fogantyún mérve.

A szabványos tesztben az EN 420:1993 alapján meghatározott 7 és 9 kézmérettel rendelkező három személy vesz részt. A két gerjesztett rezgés (M és H) tercsávonkénti spektrumát a 8. ábra mutatja.



8. ábra Az M és H gerjesztett rezgések tercsávonkénti rezgésspektruma (üres oszlopok - súlyozás nélküli spektrum; kitöltött oszlopok - súlyozott spektrum) (Griffin 1998).

A fenti ábráról látható, hogy a súlyozás nélküli spektrumok 16 és 400 Hz (az M spektrumnál) és 100 és 1600 Hz (a H spektrumnál) közé esnek. Ugyanakkor a domináns energia a súlyozott spektrumoknál a 25 és 200 Hz illetve a 100 és 1000 Hz tartományba esik. Először a méréseket kesztyű nélkül kell elvégezni mindhárom alannyal, amely alapján kiszámolható a súlyozott rezgésátvitel. A méréseket a kesztyű viselése közben meg kell ismételni. A korrigált rezgésátvitel értéke (cTR) ezt követően az alábbi képlettel számolható:

$$cTR = \frac{a_{\text{kesztyű}}}{a_{\text{kesztyűnélkül}}} \quad (9)$$

ahol $a_{\text{kesztyű}}$ a súlyozott rezgés gyorsulás (ms^{-2} r.m.s.) a kesztyű viselésével mérve és $a_{\text{kesztyűnélkül}}$ a súlyozott rezgés gyorsulás (ms^{-2} r.m.s.) kesztyű nélkül mérve. Az átlagos korrigált rezgésátvitel ($\overline{cTR}$) az egyes spektrumokra számolva, a hat eredmény átlaga (két mérés mindhárom személlyel). Az átlagos rezgésátvitel az M spektrumra $\overline{TR}_M$, a H spektrumra $\overline{TR}_H$. A rezgésátviteli kritérium egy anti-vibrációs kesztyűre:

$$\overline{TR}_M < 1.0 \text{ és } \overline{TR}_H < 0.6$$

Ezek a követelmények azt jelentik, hogy a kesztyű a középfrekvencián nem növelheti a kézre ható rezgést, magas frekvencián pedig minimum 40%-kal kell csökkentenie (Griffin 1998).

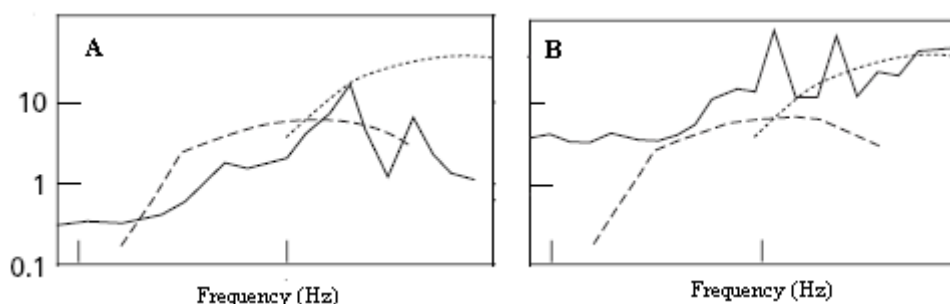
2.5.3.3. Néhány probléma az ISO 10819:1996 szabvánnyal kapcsolatban

Számos technikai probléma merült fel a teszt módszerrel és az eredmény kiértékelésével kapcsolatban. Különböző kutatások rávilágítottak arra, hogy például az adapter helytelen pozicionálása, az adapter kialakítása, a hőmérséklet, a gerjesztett rezgés időtartama, a

frekvencia szerinti súlyozószűrő használata vagy az alább részletesen is bemutatott faktorok jelentős hatással vannak a kesztyűteszt végső eredményére.

Az eszköz-kesztyű rezgésspektrumának eltérése

Annak érdekében, hogy objektíven meg lehessen ítélni egy kesztyű rezgéscsillapító hatékonyságát, ismerni kell azon eszköz rezgésspektrumát, amelynek a kézre átadódó rezgés mértékét a kesztyű által csillapítani kívánják.. Griffin (1998) 20 különböző eszköz rezgésspektrumát hasonlította össze a szabványban definiált M és H spektrumokkal és úgy találta, hogy a szabványos spektrumok nem feltétlenül jó leképezései az egyes gépek spektrumának (9. ábra). Ez azt jelenti, hogy a kalkulált $\overline{cTR}$ nem szolgáltat pontos információt arról, hogy egy kesztyű mennyire hatékony olyan géppel alkalmazva, amelynek eltérő a spektruma a tesztben használttól.



9. ábra Az M (- - -) és H (...) spektrum összehasonlítása kézi szerszámok spektrumával (—) (A= anti-vibrációs láncfűrész; B=anti-vibráció nélküli láncfűrész) (Griffin 1998).

Dong és kollégái (2005b), és Rakheja és kollégái (2002), valamint Pinto és munkatársai (2001) egyetértettek abban, hogy egy kesztyű rezgéscsillapító hatékonysága nagyban függ az eszköz vibrációs karakteristikájától. Azt is megállapították, hogy annak ellenére, hogy egy kesztyű megfelelt a tesztnek, még nem feltétlenül hatásos minden típusú kézi géppel alkalmazva. Kiemelték továbbá, hogy a kesztyű hatékonyságának megítélésénél nagyon fontos a valós munkakörülmények (eszköz kézben tartása, valós szorítóerő demonstrálása, stb.) szimulálása a teszt során.

A rezgégysorulás és fogantyú szorító erejének hatása

A kesztyű-kéz-kar rendszer úgy modellezhető, hogy a kesztyű és a kéz különálló, egymáshoz kapcsolódó mechanikai rendszert alkot (Dong *et al.* 2005a, 2009). Mivel a kesztyű nélküli kéz-kar rendszer dinamikájára jelentős hatással van a kéz szorító ereje (Griffin *et al.* 1982, Aatola 1989, Gurram *et al.* 1994, 1995) és kisebb mértékben a rezgés

nagysága (Reynolds és Keith 1977, Gurram *et al.* 1994, 1995, Besa *et al.* 2007), ezért feltételezhető, hogy ezek a faktorok a kesztyű viselésére is kihatnak.

Az a néhány tanulmány, amely vizsgálta a kéz szorító és/vagy nyomóerejének hatását a kesztyűk rezgéscsillapítására, megállapította, hogy az erő, amellyel a tesztalany megragadja a fogantyút, befolyásolja a kesztyű hatékonyságát (Dong *et al.* 2005d, Gurram *et al.* 1994, Hewitt 1998, Smutz *et al.* 2002). Dong *et al.* (2002) két kesztyűt vizsgált két különböző nyomóerővel (50 N és 100 N) és azt találta, hogy a nyomóerő változtatása különösen a magasabb frekvenciákon eredményezett rezgésátvitel változást. O'Boyle (2003) konstatálta, hogy tenyér által kifejtett erő változtatása (10 N-ról 80 N-ig) rontotta három kesztyűanyag rezgéscsillapítását.

Az európai VIBTOOL projekt keretében különböző eszközök fogantyújára kifejtett kézi erő nagyságát vizsgálták és megállapították, hogy az akár a 130 N-t is elérheti (Kaulbars és Concettoni 2007). Több ISO szabvány leírja, hogy a kézi gép fogantyújára kifejtett nyomó és/vagy szorítóerő a 200 N-t is meghaladhatja (Dong *et al.* 2005a). Mivel kertészeti kisgépek vonatkozásában nem történt vizsgálat a kéz által kifejtett erőhatásokra vonatkozólag, nem lehet tudni, hogy az milyen határok között változhat, és ez miként befolyásolja a meghatározott erő kifejtéssel bevizsgált anti-vibrációs kesztyű hatékonyságát.

A kesztyű rezgéscsillapításával kapcsolatban általános az a feltételezés, a kesztyű dinamikus viselkedése különböző behatásokra lineáris, tehát a csillapítás független a rezgés nagyságától. Hewitt (1998) vizsgálatai azt mutatták, hogy a rezgés erőssége nem befolyásolja lényegesen a kesztyű hatékonyságát; 3 ms^{-2} r.m.s rezgésgyorsulás 20 ms^{-2} r.m.s. értékre való növelése mindösszesen 3 %-ban változtatta a kesztyűk rezgésátvitelét. Hasonló eredményre jutottak Rakheja és kollégái (2002), amikor a kesztyűket különböző erősségű és spektrumú rezgésekkel tesztelték. O'Boyle (2005) szintén megjegyezte, hogy a rezgés erősségének változtatása általában csak kismértékben befolyásolta a kesztyűanyagok viselkedését; kivételt képez ez alól a 160-400 Hz közötti frekvenciatartomány, ahol szignifikáns különbségeket talált a rezgéscsillapításban változó rezgés erősség hatására. A kertészeti kisgépek rezgés kibocsátása tág határok között ingadozik, ezért fontos tudni, hogy a rezgés nagyságának változása hogyan befolyásolja az anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítását.

Az emberek közötti különbség hatása

Az ISO 10819 szabvány három személy részvételét írja elő a kesztyűtesztben. Számos tanulmány kiemelte, hogy a kesztyűteszt eredménye nagy eltéréseket mutat a tesztalanyok

között (Paddan és Griffin 1997, Griffin 1998, Hewitt 1998, Boileau *et al.* 2002, O'Boyle and Griffin 2004). Griffin (1998) bemutatta, hogy a kesztyűk rezgéscsillapításának varianciája kisebb volt a kesztyűk között, mint a tesztalányok között. Hewitt (1998) és Rakheja és kollégái (2002) mérései alapján 10 % és 18 %-os eltérés volt tapasztalható az egyes tesztalányokkal végzett kesztyűtesztek között. Ezt azt eredményezheti, hogy a tesztalányoktól függően egy kesztyű megbukhat, vagy megfelelhet a vizsgálaton. A három emberrel végzett szabványos kesztyűteszt eredménye kétséges indikátora a kesztyű rezgéscsillapító tulajdonságának. Az egyének megválasztásával befolyásolható teszteredmény problematikájára más kutatók is felhívták a figyelmet (Paddan és Griffin 2001).

A rezgésre adott eltérő biodinamikus válaszreakciók az egyes személyek eltérő antropometrikus (fizikai méretek) tulajdonságaiból adódhatnak (Burström 1997). O'Boyle (2001) összefüggést talált a kéz mérete és a kesztyűk rezgéscsillapítása között; minél nagyobb volt a kéz mérete, annál hatékonyabbnak bizonyult a kesztyű. Ezzel szemben Dong és munkatársai (2004) nem találtak olyan testjellemzőt, amely a teljes frekvenciaspektrumon korrelációt mutatott volna a kesztyű rezgéscsillapításával. 50 és 125 Hz között a kézfej körmérete volt az egyetlen jellemző, mely hasonló összefüggést mutatott a kesztyűk rezgéscsillapításának változásával, mint O'Boyle (2001) tanulmányában. Egy másik kísérletben azt találták, hogy az anti-vibrációs kesztyűk kevésbé voltak hatékonyak a nagyobb kézfejű emberekkel vizsgálva az 50-100 Hz tartományban (Dong *et al.* 2005d).

3. A SZAKIRODALMI ISMERETEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS HIPOTÉZISEK

Annak érdekében, hogy egy kézi eszköz egészséget veszélyeztető rezgési tulajdonsága jellemezhető legyen, a gyártónak vagy meghatározott módon méréseket kell végezni az adott eszközzel, vagy egy másik, azonos kategóriájú, ismert rezgés kibocsátású eszközzel való összehasonlítás alapján kell megbecsülni a kibocsátást. Az így kapott rezgés kibocsátás eredménye kerül feltüntetésre a gép forgalomba hozatali engedélyén és ad alapot az eszköz által keltett rezgési ártalmak kialakulásának kockázati értékeléséhez.

Kertészeti kisgépek vonatkozásában ez két problémát vet fel: a szakirodalomban elenyésző mennyiségű információ áll rendelkezésre kertészeti kisgépek kísérleti úton meghatározott rezgés jellemzőiről (az is főként láncfűrészekre szorítkozik). Nemcsak a kibocsátott rezgés erősségre vonatkozó adatok szűkösek, hanem a vibráció spektrumára vonatkozóak is. Ez azt eredményezi, hogy egy gép rezgésének becslésekor a viszonyításhoz nincs kellő összehasonlítási alap.

A másik probléma, hogy a kézi motoros gépek rezgés kibocsátását illetve a kézre ható rezgés mértékét és az anti-vibrációs kesztyű hatékonyságát számos tényező befolyásolja. Ezen tényezők egy részének hatását szabványos mérési körülmények felállításával lehet megfelelő kontroll alatt tartani. Az alábbi faktorok és azok hatása a mérési eredményre azonban vagy nem definiált az előírásokban, vagy szabványos mérési és értékelési eljárások nem a valós munkakörülményeket tükrözik:

- a kisgép üzemóra száma, műszaki állapota és hatása a rezgésterhelés változásra,
- a rezgésmérés időtartamának megválasztása a kézre ható rezgés mérésekor,
- a gép működtetési körülményeinek szerepe a kézre ható rezgésben,
- a gép rezgésspektumának és a rezgés nagyságának befolyása az anti-vibrációs kesztyűk hatékonyságára,
- az emberi tényező hatása, stb.

Az irodalmi szakanyag tanulmányozását követően a kutatásomban az alábbi hipotéziseket fogalmaztam meg:

- A kézi gép üzemóra számának növekedésével nő a gépkezelőt érő rezgésterhelés is.
- Az eszköz kézben tartásának módja szignifikánsan befolyásolja a kézre ható rezgés mértékét.

- Az anti-vibrációs kesztyűk hatékonysága kertészeti gépek szintetizált spektrumával való vizsgálatokor szignifikánsan kisebb, mint ahogy az a szabványos teszteredmények alapján elvárható lenne.
- Az anti-vibrációs kesztyűk dinamikus tulajdonságai nem lineáris változást mutatnak; a rezgés erősségének vagy a fogantyú szorító erejének növelésével változik a kesztyű rezgéscsillapítása.
- Az emberek megválasztása mind a géprezgés teszteléskor mind az anti-vibrációs tesztben szignifikáns hatással van a teszteredményekre.
- A kézfej tenyéren mért legszélesebb mérete korrelációt mutat az anti-vibrációs kesztyű rezgéscsökkentő hatékonyságával.

4. VIZSGÁLATI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. Kertészeti kisgépek rezgésterhelésének mérése

4.1.1. Vizsgált kézi szerszámok

A doktori kutatásba a kertészetben leggyakrabban használt gépcsoportokat vontam be, összesen 18 kézi eszközt:

- 11 benzinmotoros fűkaszát,
- 4 benzinmotoros fűnyírót és
- 2 elektromos, 1 benzinmotoros sövényvágót.

A 10. ábra néhány, vizsgálatban részt vevő eszközt mutat a vizsgálat helyszínén (Soroksári Tangazdaság). Az egyes gépek műszaki jellemzői és becsült vagy nyilvántartott összes üzemóra száma az M.2.(a) táblázatában (2. melléklet) található.



10. ábra Néhány vizsgált kertészeti motoros kéziszerszám (saját fényképek).

A vizsgált eszközök egy része a Budapesti Corvinus Egyetem (Szigetcsépi és Soroksári Tangazdaság) tulajdonában volt, másik részük pedig egy budapesti parkfenntartással foglalkozó vállalat és magántulajdonban voltak.

4.1.2. A rezgésmérés eszközei és a kézre ható rezgés mérésének körülményei

Mivel a rezgésnek számos jellemzője van (időfüggvény, kitérés, sebesség, gyorsulás, spektrum, stb.), ezért olyan eszközöket kellett választani, amely a géprezgések és kézre ható rezgések minél részletesebb elemzéséhez megfelelnek.

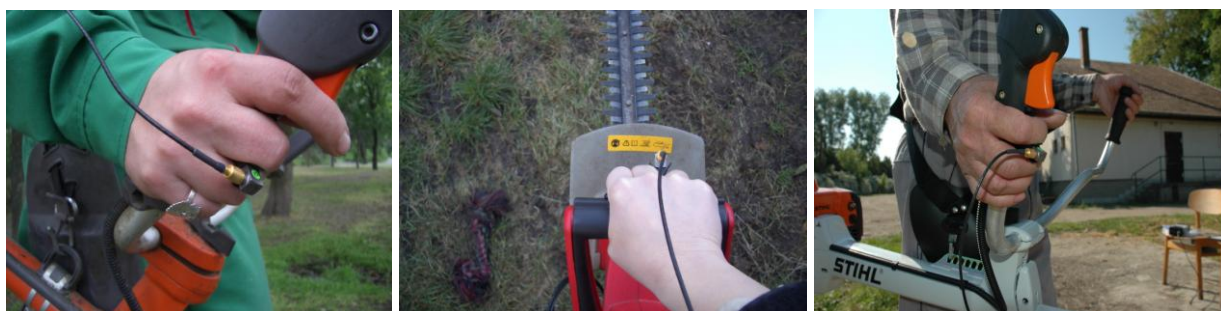
A géprezgés és a kézre ható rezgés mérésére Svantek SV 3023M típusú tri-axiális piezoelektromos gyorsulásérzékelőt használtam, amelynek érzékenysége 10 mV/g volt. Az érzékelőt egy szintén Svantek SV 50 típusú alumínium, jobb és balkezes kivitelű, kézi adapterhez csavarmenettel rögzítettem. Az adatok gyűjtése és analízálása kezdetben Svan

912AE zaj- és rezgésanalizátorral történt, amelyhez Svantek SV 06A négycsatornás bemeneti modul csatlakozott. E mellett egy ennél fejlettebb, négy csatornás zaj-és rezgésanalizátort használtam (Svan 958), amely már bemeneti modul nélkül is tudta a háromirányú rezgésmérés adatait egyszerre fogadni. Ez a típus a cég ajánlása alapján ideális az emberre ható rezgések mérésére és értékelésére. A piezoelektromos gyorsulásérzékelő pontosságát (bár volt kalibrációs tanúsítványa) egy kalibráló rezgésgerjesztőhöz csatlakoztatva (Brüel & Kjær 4291, illetve Brüel & Kjær 4294) minden mérési időszak előtt és után ellenőriztem. Az analizátorok rezgésmérő körének kalibrációját a műszerekbe épített kalibráció funkcióval végeztem. Az analizátor az átalakító érzékenységeinek (mV/g) megadását követően automatikusan kiszámolta és eltárolta a kalibrációs együtthatót (8.318). A rezgésmérő műszerek megfeleltek az ISO 8041:2005 előírásainak.

A kézre ható rezgésterhelés vizsgálata az ISO 5349:2001 szabvány előírása alapján történt. A gyorsulásérzékelővel felszerelt kézi adapter a tenyérben, az ujjak között helyezkedett el a 11. ábra szerinti módon. Az analizátorral a rezgés gyorsulás adatokat egyidejűleg rögzítettem az x, y és z irányban. A méréseket az eszközök mindkét fogantyúján (jobb és balkézen) is elvégeztem. Az M.2.(b) táblázat (2. melléklet) összegzi a mérési körülményeket. Minden esetben a gyártó által biztosított, géphez tartozó kiegészítőkkel voltak felszerelve az eszközök. A mérések előtt minden gép minimum 3 percig üzemelt, hogy a motor bemelegedjen. A benzinmotoros eszközöknél a vizsgálat megkezdése előtt a benzintankot teljesen feltöltöttük, a megfelelő kenésről gondoskodtunk. A fűkaszák esetében a rezgésmérések terhelés nélküli, alap fordulatszámon (gép kézben tartott, hámphoz csatlakoztatott, vágófej nem mozog) -továbbiakban alapjárat- és vágás közben, maximális fordulatszámmal mellett -továbbiakban vágás- történtek. A fűkaszák damilos fejjel felszereltek voltak, a damilszál hosszúsága a típusnak megfelelően a maximális volt. A kaszált területeken a fű magassága nem haladta meg a 25 cm-t. Fűnyíróknál a rezgésmérések a fűnyíró álló helyzetében, vágás nélkül, alap fordulatszámon -továbbiakban alapjárat- és 10 cm magasságnál alacsonyabb gyeppel történő vágása közben -továbbiakban vágás- történt. Az önjáró fűnyírók esetében a sebességet minden esetben a lehetséges állítási lehetőségek középtérféjére választottam meg, a fűnyírókerekek magassága a változtatási lehetőségek közül szintén a középtérféjére volt beállítva. A fűnyírás sík felszínű területen történt, a fű nem volt nedves. A sövényvágók esetében a vizsgálat a benzinmotoros változattal alapjáraton, terhelés nélkül -továbbiakban alapjárat- és sövényvágás közben, maximális fordulatszámmal -továbbiakban vágás- történt. Az elektromos változatoknál csak egy fordulatszámmal üzemeltek az eszközök, ezért a vizsgálatokat

terhelés nélkül (sövényvágás nem történt) -továbbiakban alapjárat- és sövényvágás közben -továbbiakban vágás- végeztem el. A sövény fagyal (*Ligustrum* sp.) növényből állt, a vágott hajtások maximális átmérője 40 mm volt. Az egyes mérések között a gépkezelők körülbelül 1 percet pihentek. A kézre ható rezgés mérése 2005, 2006, 2007 években áprilistól októberig tartó időszakban, illetve 2009 szeptember-októberében a Budapesti Corvinus Egyetem szigetcsépi és soroksári tangazdaságában, egy budapesti parkfenntartással foglalkozó vállalat munkaterületein, Budapesten zajlott (M.2.(b) táblázat, 2. melléklet). A vizsgálati időszakokban a hőmérséklet 20 és 28 °C között változott, a méréseket minden esetben száraz, szélcsendes időben végeztem.

Minden mérés két ismétlésben (a mérés időtartam hatásának vizsgálatokor nyolc ismétlésben) történt és három kezelő üzemeltette az eszközöket normál körülmények között (kivéve, amikor ettől eltérő helyzetek rezgésre gyakorolt hatását vizsgáltam). A kezelők jártasak voltak a gépek üzemeltetésében. Személyes jellemzőiket az M.2.(c) táblázat (2. melléklet) tartalmazza.



11. ábra A piezoelektromos gyorsulásérzékelő a kézi adapterrel különböző eszközök gépkezelőt érő rezgésterhelésének mérésekor (saját fénykép).

A rezgésméréseket különböző szempontok szerint és ismétlésekkel végeztem:

- az összes eszköz súlyozott rezgés gyorsulásának mérése minimum 3 gépkezelővel, kétszeri ismétléssel, a fentieknek megfelelő alapjáraton és vágás közben, x, y, és z irányban, jobb és bal kézen;
- 9 eszköz (7 fűkasza, 1 fűnyíró és 1 sövényvágó) oktávsváros analízise és 9 eszköz (5 fűkasza, 2 fűnyíró és 2 sövényvágó) tercsváros analízise 3 gépkezelővel mérve, kétszeres ismétléssel, alapjáraton és vágás közben, x, y, és z irányban, jobb és bal kézen;
- 11 eszköz (7 fűkasza, 2 fűnyíró, 2 sövényvágó) keskenysávú analízise egy gépkezelővel mérve, alap és/vagy vágás közben, kétszeri ismétléssel, x, y, és z irányban, jobb és/vagy bal kézen;

- 1 fűnyíró súlyozott rezgésgyorsulásának mérése 3 gépkezelővel, nyolcszori ismétléssel, alaplátra, x, y, és z irányban, jobb és bal kézen, 4 mérési időhosszal (10s, 20s, 30s, 1min);
- 7 fűkasza 3 éven át tartó (2006-2009) vizsgálata a súlyozott rezgésgyorsulás mérésével és oktáv, illetve tercésos analízissel, 3 gépkezelővel mérve, alaplátra és vágás közben, x, y, és z irányban, jobb és bal kézen, kétszeres ismétlésben. A méréseket 2006-ban, 2007-ben és 2009-ben évenként egyszer (május-június ill. szeptember) 6-6 mérésorozattal (3 gépkezelő*2 ismétlés) végeztem ugyanazokkal a sorozatszámú gépekkel mindkét fogantyún. Ez összesen 252 rezgésmérést jelentett. A gépeket birtokló parkfenntartó vállalat tájékoztatása szerint az általános karbantartáson túl, a gépeken más beavatkozás nem történt. Az eszközöket úgy választottam meg, hogy azok viszonylag újak és egyidősek legyenek. Az egyes gépek üzemóra számát gépkönyvi nyilvántartás alapján kaptam meg az eszközt üzemeltető vállalatától (M.2.(d) táblázat, 2. melléklet).
- 2 eszköz (fűkasza és sövényvágó) súlyozott rezgésgyorsulás mérése és tercésos analízise, 3 gépkezelővel mérve, alaplátra és vágás közben, x, y, és z irányban, jobb és bal kézen, kétszeres ismétléssel, 3 kézen tartási pozícióval. A sövényvágó esetében a pozíciók a következők voltak: a vágóél párhuzamos a talajjal (sövény vízszintes felületének vágása), a vágóél merőleges a talajra, az eszköz jobbra döntött (sövény oldalának nyírása) és talajra merőleges vágóéllel, mikor a sövényvágó balra döntött (12. ábra).



12. ábra Sövényvágó kézen tartásának módja az üzemeltetési pozíció rezgésterhelésre gyakorolt hatásának vizsgálatokor (saját fénykép).

A fűkaszánál használt pozíciók: normál vágás, vágófej talajjal 45°-os szöget zár be és jobbra döntött (lejtős terület kaszálásának esete domboldalon állva), vágófej talajjal 45°-os szöget zár be és balra döntött (13. ábra).



13. ábra Fűkasza kézben tartásának módja az üzemeltetési pozíció rezgésterhelésre gyakorolt hatásának vizsgálatakor (saját fénykép).

Az előzetes vizsgálatok alapján (lásd bővebben a 5.1.2. fejezetben) a kézre ható rezgés egy ismétlésének mérési időtartama 20 s volt. Ez a vizsgálati időtartam kellő hosszúságúnak bizonyult ahhoz, hogy az eszközök által keltett tipikus rezgésspektrumok és rezgésterhelés reprezentatív legyen, másrészt, hogy az egyes mérési eredmények közti variancia kisebb legyen 0.4-nél. (Ezzel a kritériummal az egyén eredményei közötti ún. inter-subject variability mértéke csökkenthető).

A frekvencia szerint súlyozott effektív rezgésgyorsulás az x , y és z irányban (a_{hwx} , a_{hwy} és a_{hwz}), a maximum (a mérési időtartam alatt maximális effektív érték az RMS detektor kimenetén, a_{max} , ms^{-2} r.m.s.), a csúcs ($\hat{a}$, ms^{-2}), illetve a csúcstól csúcsig értékek ($a_{peak-to-peak}$) (a Svan 912 AE analizátornál a minimum és maximum értékek különbsége) lettek rögzítve W_h súlyozó szűrő bekapcsolása mellett. A teljes rezgésterhelés (a_{hv} , ms^{-2} r.s.s.) és a napi rezgésterhelés ($A(8)$, ms^{-2}) értékeit a fenti adatokból az (1) (2) (6) (7) képletek alapján határoztam meg. A rezgésgyorsulás r.m.s. értékeit lineáris integrációval határoztam meg. Az analizátorok memóriájában (puffer) minden pillanatnyi mérési eredmény - 100 ms-onként, Svan 958 esetében 200 ms-onként - eltárolódott az idő függvényében.

Az analizátorok lehetővé tették oktáv- és tercsávós elemzés elvégzését is felüláteresztő szűrő (high pass, HP) beiktatásával. A Svan 912AE műszerrel szimultán csak oktávsváros elemzést lehetett végezni a három irányban 2 Hz és 8 kHz frekvenciatartományban. A Svan 958 műszerrel szimultán tercsávós analízist végeztem a 0,8 és 20 kHz frekvencia tartományban. Az integrálási időköz Svan 912AE műszerrel 50 ms, míg Svan 958 műszerrel 100 ms volt. A műszer memóriájának korlátai miatt tercsávós analízisnél csak a súlyozott effektív értékek és az idő szerinti pillanatnyi r.m.s. értékek (200 ms-ként Svan 958-nál) kerültek elmentésre, sávonként.

A keskenysávú frekvencia analízis (Fast Fourier Transform, FFT) frekvenciatartománya 0-5.66 kHz (0-5.6 kHz Svan 958-al) volt, a spektrumsávok száma 480 (Svan 912AE) és 961 (Svan 958) volt. A mintavételi frekvencia (sampling rate) 48000 Hz volt a Svan 958

műszerrel. Az r.m.s. értékeket lineáris átlagolással (100 ms időállandóval Svan 958-nál), HP szűrővel, és Hanning időablak alkalmazásával kaptam. Svan 912 műszernél az átlagolások száma 100 volt. A pillanatnyi r.m.s. értékek elmentése a Svan 958 műszernél 200 ms-onként történt az idő függvényében.

4.1.3. Az eredmények kiértékelése

Az összes mérési feltételeket és kombinációkat tekintve a közel 2800 mérési eredmény feldolgozását és értékelését a Svantek cég SvanPC programjával (2.7.18. verzió) és Microsoft Office (10.0 verzió) Excel táblázatkezelő programmal végeztem. A statisztikai elemzéseket (átlag, szórás, variációs együttható, Friedman teszt, Wilcoxon teszt, 0.05 szignifikancia szint (α) mellett) és a regresszióanalízist SPSS (16.0 verzió) statisztikai programcsomaggal végeztem (Siegel és Castellan 1988).

4.2. Anti-vibrációs kesztyű rezgésátvitelének vizsgálata

4.2.1. A vizsgálat körülményei

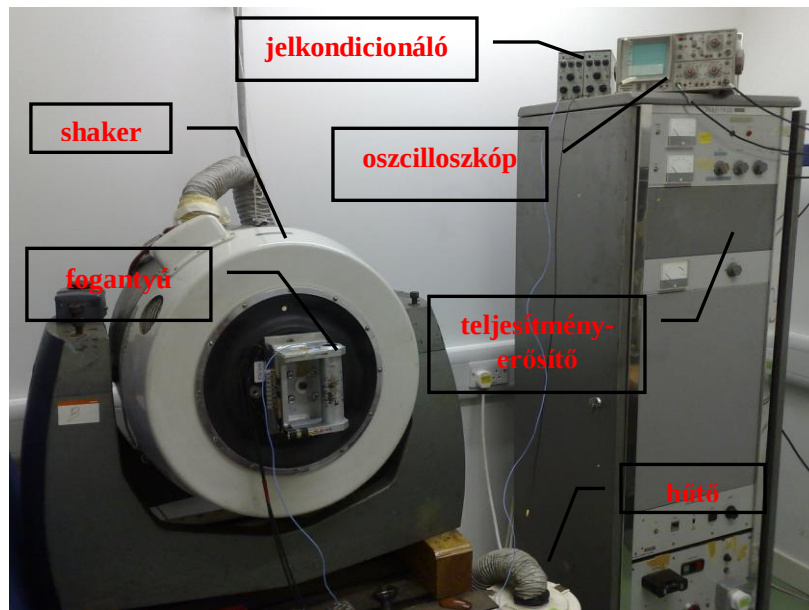
A kesztyű rezgésátvitelének vizsgálati módja megegyezett az ISO 10819:1996 szabvány előírásaival. A mérésekre az angliai University of Southampton Institute of Sound and Vibration Research Human Factors Research Unit laboratóriumában került sor 2008 július-szeptember és 2009 február-május időszakokban.

Eszközök

- Rezgésgerjesztő (shaker)

A rezgés előállítására egy elektrodinamikus vízszintes helyzetű Derritron VP85 típusú rezgésgerjesztő szolgált, amelyhez egy 1.5 kW Derritron teljesítményerősítő és légáramlásos hűtő csatlakozott. A rezgésgerjesztőhöz csavarozással egy 18*15*1 cm alumínium lapot rögzítettek, amelyre egy fogantyú volt erősítve. A 6 kg tömegű fogantyú puha fémből készült és első rezonanciája 1440 Hz-en mutatkozott. A fogantyú belsejében piezoelektromos gyorsulásérzékelő, külső felületén pedig nyúlásmérő bélyegek voltak felerősítve. A fogantyút a kísérletek előtt kalibráltam, hogy az előírt szorító (30 N $\pm$ 5 N) és nyomó erőt (50 N $\pm$ 8 N) a tesztben részt vevők ezen az értéken tudják tartani. 3 kg (30 N szorító erőnek felel meg) illetve 5 kg (50 N nyomóerőnek felel meg) súlyt kapcsoltam a rezgésgerjesztőről leszerelt fogantyúhoz és az előerősítők érzékenységet úgy változtattam, hogy az oszcilloszkóp meghatározott pontján tűnjön fel a nyúlásmérőktől származó, az erő nagyságára utaló jel. A kísérletek során a kalibrációt minden nyomóerő változtatásánál újra el kellett

végezni. A 14. ábra a rezgésgerjesztőt és teljesítményerősítőt mutatja. A fogantyúról, a fogantyú kalibrálásáról készített fényképeket az M.2.(a) ábra (2. melléklet) mutatja.



14. ábra A shaker az erősítővel, a jelkondicionálóval és az oszcilloszkóppal (saját fotó).

- Érzékelők

Erőhatás mérése

Nyúlásmérő bélyegek (réz-nikkel-alumínium fólia típusú) voltak rögzítve a fogantyú különböző pontjaira, amelyekkel a kéz által kifejtett erőket lehetett mérni. A nyúlásmérők kivezető kábele egy Wheatstone hídhoz (type 3199-01; Yokogawa Electric Works, Ltd., Tokyo, Japan) kapcsolódott.

Gyorsulásérzékelő

Csakúgy, mint a kézre ható rezgés mérésénél, itt is piezoelektromos gyorsulásérzékelőket használtam (Brüel and Kjær 4374), melyek súlya 0.65 g, érzékenysége pedig 100mV/g volt. Minden vizsgálat előtt és után az érzékelőket kézi rezgéskalibrátorral (Brüel and Kjær 4294) és *HVLab* software használatával kalibráltam. A két érzékelő egyikét a fogantyú belsejében viasszal rögzítettem, a másikat pedig a speciális kézi adapter közepén kialakított mélyedésbe helyeztem bele. A 15. ábra mutatja az adaptert, a tesztalany pozícióját a mérések alatt és az oszcilloszkópot.



15. ábra Kézi adapter a gyorsulásérzékelővel, a tesztalany pozíciója a mérés során és a kézi erő nagyságát mutató oszcilloszkóp (balról jobbra) (saját fotó).

- Kesztyűk

Négy, 9 és 10-es méretű, teljes ujjas anti-vibrációs kesztyűt vizsgáltam: egy nitrillel fedett párnázott kesztyűt (Kesztyű1), egy nitrillel fedett szilikonnal töltött kesztyűt (Kesztyű2), egy gelfoam anyaggal töltött polimer borítású kesztyűt (Kesztyű3) és egy zárt légbuborék kamrás bőrkesztyűt (Kesztyű4). A kesztyűkről készült felvételeket az M.2.(b) ábra (2. melléklet) mutatja.

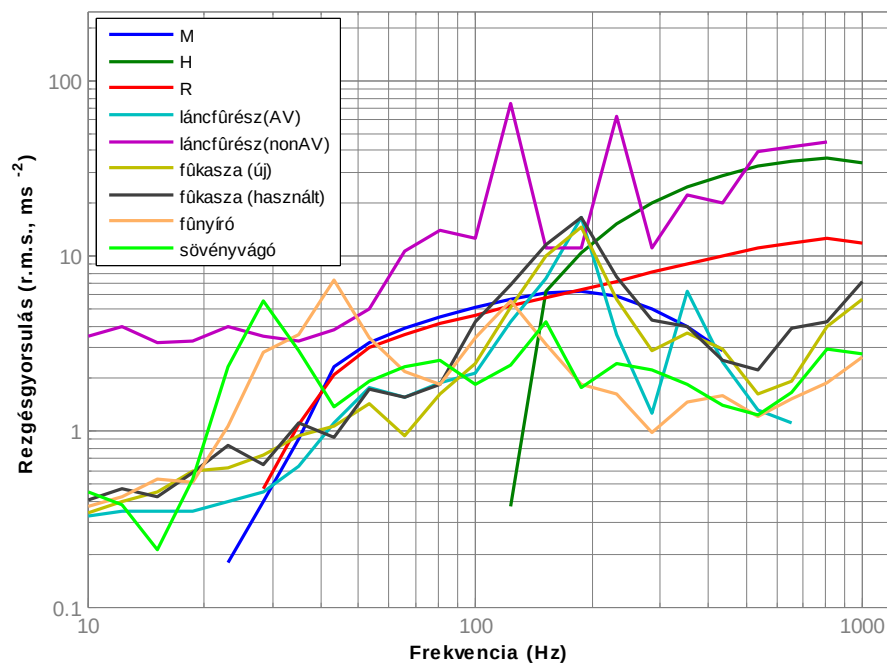
Laboratóriumi adatgyűjtés

A Southampton Egyetem saját fejlesztésű *HVLab* (3.81 verzió) szoftverének személyi számítógépen futó kezelőfelületét használtam a rezgésjel-generálás programjának FORTH nyelven való megírásához. A jelgenerálás programját az M.2.(c) ábra (2. melléklet) mutatja. A jelek aluláteresztő szűrőn (1260 Hz) keresztül jutottak el a teljesítményerősítőbe, majd onnan a rezgésgerjesztőbe. A rezgésgerjesztő állította elő a kívánt rezgésjeleket. A kézi adapterből és a fogantyútól származó rezgés gyorsulás jelek jelkondicionálón keresztül (Brüel & Kjær 2635), elliptikus karakterisztikájú 1260 Hz-es aluláteresztő szűrőn (Kemo 0,1 Hz-10 kHz variable filter VBF 17) haladtak át (-70 dB/oktáv csökkentéssel az első oktávban). A jelrögzítés hosszának beállítása és a mintavétel (5000 mintavétel/s) az *HVLab* adatrögzítő és analízáló rendszerével történt. A rezgés gyorsulás adatok W_h súlyozószűrővel frekvencia szerint súlyozottak voltak. A nyúlásmérőktől származó jelek az erősítőn és aluláteresztő szűrőn való áthaladás után egy oszcilloszkópon (Hameg HM203-7) jelentek meg, amelyet nyomon követve a tesztalany saját maga szabályozhatta (és tarthatta a kívánt értéken) a kezével kifejtett erő nagyságát (15. ábra). A kesztyűteszt műszerezettségének sematikus ábráját az M.2.(d) ábra (2. melléklet) mutatja.

A három hipotézis és a méréseket végző eszközpark különböző beállítási igényei miatt a kísérletet három szakaszra bontottam:

1. szakasz: *kertészeti gépek rezgésspektruma és a kesztyűk rezgéscsökkentése közti összefüggés vizsgálata*

Kilenc rezgésspektrumot használtam: a standard M és H spektrumokat, egy R véletlenszerű, szélessávú 16 és 1000 Hz közötti rezgésspektrumot, valamint hat kerti eszköz (antivibrációs és antivibráció nélküli láncfűrész, egy új és egy használt fűkasza, egy fűnyíró és egy sövényvágó) szintetizált spektrumát. Az R spektrumot számos kutató a szabványos spektrumok jó alternatívájaként definiálta (Griffin 1998, Dong *et al.* 2002, 2004, 2005a). A gépek rezgésének szintetizálására a magyarországi mérési eredményeimet használtam fel. A gépek 6,3 és 1000 Hz közötti tercsávokban mért r.m.s. rezgésgyorsulása adta az alapot a rezgésspektrumok előállításához, mely Matlab és *HVLab* ToolBox programmal történt (kivéve a láncfűrészek r.m.s értékei, amelyek Griffin 1998 tanulmányából valók) (M.2.(e) ábra, 2. melléklet). A kézi gépeken x, y, és z irányokban mért, kézre ható rezgésterhelés értékeket tercsávonként átlagoltam, hogy a rezgésgerjesztővel ez alapján szintetizál z irányú rezgés valós terhelést reprezentáljon. Az R spektrum és a kézi gépek súlyozott r.m.s. rezgésgyorsulása rendre 3.0, 2.6, 17.2, 2.8, 3.3, 5.5 és 5.6 ms⁻² volt.



16. ábra A rezgésgerjesztővel generált rezgések spektruma.

A 16. ábra mutatja a kilenc rezgést. A fogantyúra gyakorolt nyomóerőt 50 N, míg a szorítóerőt 30 N értéken tartották a tesztalanyok. A méréseket kesztyű nélkül és kesztyűvel végeztük el mindegyik spektrummal. A tesztek két sorozatban végeztem, két eltérő, 12 fős tesztcsoporttal (szervezési és engedélyezési okokból kifolyólag). Az

első sorozatban az M, H, R és a két láncfűrész spektrummal történt a kesztyűteszt, majd a második sorozatban az M, H, R és a maradék szintetizált géprezgés spektrumokkal.

2. szakasz: *a rezgés nagyságának szerepe a kesztyű rezgésáteresztésére*

Az előző szakaszban használt R spektrumot generáltam hat rezgéserősséggel: 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, és 8.0 ms⁻² r.m.s. Az ISO 10819:1996 szabványban mind a szorító, mind pedig a nyomóerő nagysága a fogantyún meghatározott. Hewitt (1998) és Dong és kollégái (2004) azt javasolták, hogy csak a nyomóerőnek van meghatározó szerepe a kesztyű rezgésáteresztésében. A szorítóerő szükségtelen ellenőrzése csak bonyolítja a kesztyűtesztet és a mérési módszer típusától függően, kihat az eredményre (Griffin 1998). Ennek fényében a méréssorozatot úgy terveztem meg, hogy tesztszemélyek a nyomóerőt konstans 50 N értéken tartották úgy, hogy közben szorító erőt nem fejtettek ki a fogantyúra. A teszteket csak kesztyű viselésével végeztük.

3. szakasz: *a fogantyúra gyakorolt nyomóerő hatása a kesztyű rezgésáteresztésére*

Ebben a szakaszban a tesztalanyok hat nyomóerőt gyakoroltak a fogantyúra: 5, 10, 20, 40, 50, and 80 N. Szorító erőt itt sem fejtettek ki a tesztszemélyek. Az R spektrum rezgéserőssége 2 ms⁻² r.m.s. értékre lett beállítva. A tesztben résztvevőkkel nem végeztünk kesztyű nélküli tesztet.

Mivel több kutató megállapította, hogy 30 s hosszúságú mérési idő a kesztyűteszt során nem szükséges (Hewitt 1998, Griffin 1998, Paddan 2001), ezért az előzetes tesztek alapján 10 s mérési időt használtam mindhárom szakaszban. Az egyes kombinációkat akkor ismételtük, amikor a bemenő és kimenő jel közötti koherencia kisebb volt 0.9-nél (lásd bővebben 4.2.2. fejezet). A méréseket kesztyű viselése nélkül és kesztyűvel is elvégeztük, ugyanakkor a számítás során a kesztyűviselés nélküli gyorsulásértékkel nem korrigáltam az eredményt. A kesztyűk rezgésátvitelének frekvencia szerinti viselkedését és a statisztikai elemzéseket a 16 és 1000 Hz frekvencia tartományban végeztem.

Minden szakaszban 12 jobbkezes, férfi tesztalany vett részt. Az alanyok jellemzőit az M.2.(e) táblázat (2. melléklet) összegzi. A kesztyűk és a spektrumok sorrendje mindhárom szekcióban randomizált volt. Az ISO 10819:1996 szabványnak megfelelően a kesztyűket a tesztek előtt minimum 3 perccel előbb felvették az alanyok és a mérések között körülbelül két percet pihentek. A résztvevők a mérések előtt írásbeli instrukciókat kaptak a tesztről, továbbá egészségügyi adatlapot töltöttek ki (M.2.(f) ábra, 2. melléklet). A laboratóriumi helyiség hőmérséklete 21°C (±2°C) volt. A kísérlet mindhárom szakaszát a Human

Experimentation Safety and Ethics Committee of the Institute of Sound and Vibration Research engedélyezte.

4.2.2. A kesztyűtesztek eredményeinek kiértékelése

Az összes tesztalanyt és kombinációt számolva 1260 rezgésáteresztes tesztet végeztem. Az adatfeldolgozás Matlab (R2006a verzió) és *HVLab* ToolBox programmal történt. A kesztyű rezgésátvitelének értéke (TR) a bemenő jel (fogantyún mért rezgés gyorsulás) és a kimenő jel (kézi adapteren mért rezgés gyorsulás) hányadosaként számolható a teljesítménysűrűség alapján (cross-spectral density function method). A teljesítménysűrűség-spektrum, PSD vagy $S(n_{\omega 0})$ azt mutatja meg, hogy a periodikus jel teljesítménye hogyan oszlik meg a különböző, $n_{\omega 0}$ frekvenciájú összetevők között. A definícióból következik, hogy $S(n_{\omega 0}) = |d_n|^2$, ahol d_n az $f(t)$ periodikus függvény $n_{\omega 0}$ frekvenciájú összetevőjének az amplitúdója. (A teljesítménysűrűség spektrum sztochasztikus és periodikus jelek esetén az autókorrelációs függvény Fourier transzformáltja. A kereszt-teljesítménysűrűség-spektrum a keresztkorrelációs függvény Fourier transzformáltja.)

A kesztyű frekvenciaátviteli függvénye, $H_{io}(f)$ az alábbi módon számítható:

$$H_{io}(f) = G_{io}(f)/G_{ii}(f) \quad (10)$$

ahol $G_{io}(f)$ a kereszt-teljesítménysűrűség-spektrum (kimenő-bemenő jelre számítva) és $G_{ii}(f)$ a bemenő jel teljesítménysűrűség-spektruma.

$$\text{Így: } TR = \frac{\sqrt{\sum_1^n W_h^2(f_i) a_{k\acute{e}z}^2(f_i)}}{\sqrt{\sum_1^n W_h^2(f_i) a_{foganty\acute{u}}^2(f_i)}} = \frac{\sqrt{\sum_1^n W_h^2(f_i) |H_{io}|^2 a_{foganty\acute{u}}^2(f_i)}}{\sqrt{\sum_1^n W_h^2(f_i) a_{foganty\acute{u}}^2(f_i)}} \quad (11)$$

ahol n a tercsávok száma.

A frekvenciaanalízis 4.88 Hz felbontással és 196 szabadságfok mellett történt. Az átviteli függvény komplex eredményt adott (magnitúdó és fázisszög), amelyből csak a magnitúdót használtam az elemzésekhez. Az átvitel értékének kiszámítása mellett az átvitelt frekvencia szerint is ábrázoltam. A rendszer linearitásának ellenőrzése (nincs zaj az elemzésben) a koherencia, γ_{io}^2 kiszámításával történt a vizsgált frekvenciatartományban:

$$\gamma_{io}^2(f) = \frac{|G_{io}(f)|^2}{G_{ii}(f)G_{oo}(f)} \quad (12)$$

ahol $G_{oo}(f)$ a kimenő jel PSD-je. A koherencia 0 és 1 között változik; tökéletes lineáris rendszernél, amelyben nincs zaj, ez az érték 1.

Különböző statisztikai módszereket alkalmaztam, hogy összehasonlítsam az eredményeket és meghatározzam az egyes kondíciók és kesztyűk teszteredményei közötti különbségeket. Mivel nem állt rendelkezésre információ arra vonatkozólag, hogy a tesztalanyok milyen eloszlású populációból származtak, ezért nem parametrikus tesztek használtam. Az SPSS statisztikai csomaggal (16.0 verzió) Friedman-tesztet, Wilcoxon tesztet és Spearman korreláció vizsgálatot végeztem 0.05 szignifikancia szint (α) mellett (Siegel és Castellan 1988). A tesztek elvégzéséhez az egyéni rezgésátvitel grafikonokról oktávsávonként kigyűjtöttem az átvitel értékeit 16 és 1000 Hz frekvenciatartományban.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

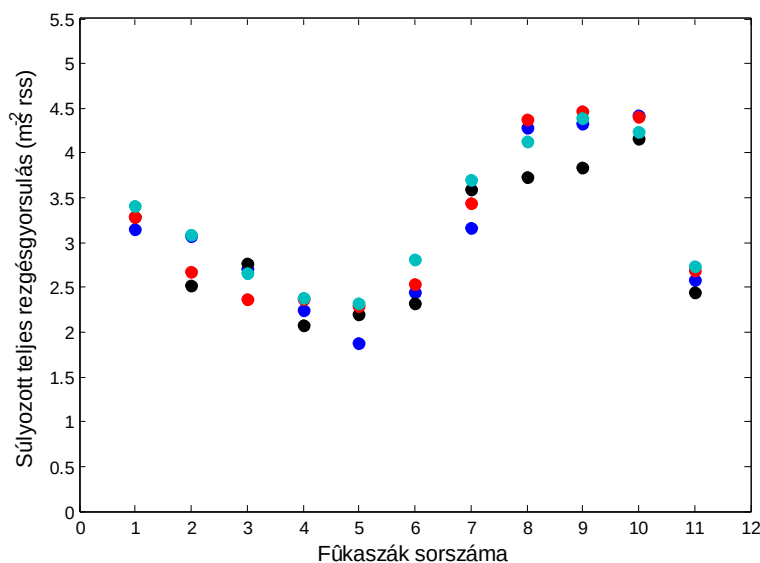
5.1. Kertészeti kisgépek rezgésterhelése

5.1.1. Kisgépek üzemi körülmények között mért rezgésterhelése

A kertészetben alkalmazott számos motoros kézigép rezgés kibocsátása és ebből eredően a kezelőt érő rezgésterhelés nagyságát határok között változtatják. Annak érdekében, hogy a gépkezelőt érő rezgésterhelésről átfogó és részletes képet alkossak, a 18 általam vizsgált eszközt 3 csoportba soroltam: fűkaszákat, fűnyírót és sövényvágókat. Az eredmények áttekinthetősége miatt az egyes csoportok rezgés eredményeit külön mutatom be.

Fűkaszákat

A doktori kutatás során 11 benzinmotoros fűkaszát vizsgáltam. A 3. táblázat összesíti az egyes fűkaszákat kézzel ható rezgésértékeit a szórásokkal és variációs együtthatókkal. A 17. ábra a súlyozott teljes rezgés gyorsulás értékeit mutatja a két mérési módban és fogantyúkon.



17. ábra Fűkaszákat gépkezelőt érő rezgésterhelése (6 mérés átlaga, x, y, és z irányban; • bal fogantyú alapjárata, • jobb fogantyú alapjárata, • bal fogantyú vágás, • jobb fogantyú vágás)

Annak ellenére, hogy például az első hét fűkasza azonos típusú volt jelentős eltérések adódtak az egyes gépekkel végzett vizsgálatok eredményében. A maximum rezgésértékek az egyes kondíciókon belül minden esetben legalább 90 %-kal nagyobbak voltak, mint a minimum értékek, sőt alapszámon, a bal fogantyún ez az eltérés 135 % volt (a minimum $1.88 \text{ ms}^{-2} \text{ r.s.s.}$, a maximum $4.421 \text{ ms}^{-2} \text{ r.s.s.}$). A legalacsonyabb rezgésterhelés értékekkel Fűkasza5 rendelkezett, míg a legnagyobb, kézre ható rezgést Fűkasza9 keltette.

Üzem- mód	Mérési pont	Írány	fűkasza 1			fűkasza 2			fűkasza 3			fűkasza 4			fűkasza 5			fűkasza 6		
			rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV
alapjárat	bal fogantyú	x	1.946	0.262	0.135	1.579	0.198	0.125	1.423	0.355	0.249	1.308	0.463	0.354	1.204	0.338	0.281	1.366	0.414	0.303
		y	1.832	0.085	0.046	1.914	0.126	0.066	1.674	0.260	0.155	1.462	0.285	0.195	1.164	0.071	0.061	1.578	0.198	0.125
		z	1.661	0.321	0.193	1.806	0.584	0.323	1.584	0.481	0.304	1.090	0.592	0.543	0.855	0.274	0.320	1.273	0.403	0.317
		a _{h_v}	3.147	0.347	0.110	3.069	0.488	0.159	2.709	0.404	0.149	2.244	0.339	0.151	1.880	0.107	0.057	2.445	0.379	0.155
	jobb fogantyú	x	2.332	0.403	0.173	1.843	0.474	0.257	1.582	0.487	0.308	1.408	0.591	0.420	1.331	0.268	0.201	1.404	0.572	0.407
		y	1.879	0.241	0.128	1.168	0.399	0.342	1.478	0.154	0.104	1.252	0.143	0.114	1.347	0.390	0.290	1.338	0.331	0.247
		z	1.350	0.259	0.192	1.275	0.432	0.339	1.708	0.691	0.405	0.876	0.504	0.575	1.108	0.385	0.347	1.266	0.307	0.242
		a _{h_v}	3.285	0.445	0.135	2.527	0.591	0.234	2.758	0.552	0.200	2.078	0.612	0.295	2.194	0.297	0.135	2.316	0.512	0.221
vágás	bal fogantyú	x	1.802	0.332	0.184	1.473	0.210	0.143	1.448	0.183	0.126	1.466	0.217	0.148	1.379	0.198	0.144	1.582	0.287	0.181
		y	2.167	0.212	0.098	1.177	0.532	0.452	1.209	0.242	0.200	1.603	0.374	0.233	1.453	0.157	0.108	1.502	0.291	0.194
		z	1.685	0.540	0.320	1.891	0.487	0.258	1.434	0.297	0.207	0.944	0.336	0.356	1.106	0.254	0.230	1.305	0.337	0.258
		a _{h_v}	3.284	0.477	0.145	2.670	0.466	0.175	2.370	0.210	0.089	2.369	0.208	0.088	2.288	0.206	0.090	2.542	0.301	0.118
	jobb fogantyú	x	2.021	0.642	0.318	1.883	0.474	0.252	1.723	0.593	0.344	1.502	0.476	0.317	1.455	0.518	0.356	1.684	0.590	0.350
		y	2.274	0.387	0.170	1.406	0.399	0.284	1.764	0.331	0.188	1.331	0.503	0.378	1.321	0.294	0.223	1.756	0.472	0.269
		z	1.523	0.553	0.363	2.005	0.732	0.365	0.990	0.475	0.480	1.284	0.300	0.234	1.232	0.643	0.522	1.402	0.389	0.277
		a _{h_v}	3.402	0.508	0.149	3.089	0.891	0.288	2.657	0.508	0.191	2.382	0.491	0.206	2.319	0.499	0.215	2.808	0.692	0.246
			fűkasza 7			fűkasza 8			fűkasza 9			fűkasza 10			fűkasza 11					
alapjárat	bal fogantyú	x	1.952	0.474	0.243	2.897	0.297	0.103	2.378	0.172	0.072	2.872	0.501	0.174	1.304	0.277	0.212			
		y	2.186	0.382	0.175	2.763	0.14	0.051	2.166	0.348	0.161	2.047	0.18	0.088	0.982	0.316	0.322			
		z	1.204	0.503	0.418	1.502	0.198	0.132	2.891	0.319	0.110	2.666	0.374	0.140	1.999	0.375	0.188			
		a _{h_v}	3.168	0.53	0.167	4.276	0.306	0.072	4.325	0.399	0.092	4.421	0.389	0.088	2.581	0.208	0.081			
	jobb fogantyú	x	2.204	0.375	0.170	2.442	0.375	0.154	2.281	0.338	0.148	1.973	0.355	0.180	0.993	0.428	0.431			
		y	2.291	0.472	0.206	2.644	0.402	0.152	1.630	0.124	0.076	1.872	0.471	0.252	1.274	0.273	0.214			
		z	1.678	0.489	0.291	0.999	0.294	0.294	2.614	0.285	0.109	3.145	0.424	0.135	1.832	0.194	0.106			
		a _{h_v}	3.595	0.372	0.103	3.735	0.398	0.107	3.833	0.291	0.076	4.158	0.49	0.118	2.442	0.386	0.158			
vágás	bal fogantyú	x	2.004	0.461	0.230	2.338	0.372	0.159	2.254	0.493	0.219	2.583	0.437	0.169	1.445	0.518	0.358			
		y	2.368	0.107	0.045	3.485	0.203	0.058	2.287	0.178	0.078	1.967	0.215	0.109	1.246	0.471	0.378			
		z	1.500	0.249	0.166	1.257	0.55	0.438	3.108	0.564	0.181	2.970	0.272	0.092	1.894	0.267	0.141			
		a _{h_v}	3.446	0.218	0.063	4.381	0.487	0.111	4.469	0.447	0.100	4.400	0.304	0.069	2.688	0.442	0.164			
	jobb fogantyú	x	2.481	0.583	0.235	2.782	0.486	0.175	2.070	0.612	0.296	2.105	0.677	0.322	1.105	0.62	0.561			
		y	2.157	0.337	0.156	0.941	0.391	0.416	1.937	0.226	0.117	1.973	0.428	0.217	1.417	0.342	0.241			
		z	1.711	0.522	0.305	2.893	0.364	0.126	3.359	0.324	0.096	3.096	0.572	0.185	2.061	0.553	0.268			
		a _{h_v}	3.706	0.487	0.131	4.122	0.427	0.104	4.395	0.400	0.091	4.232	0.519	0.123	2.734	0.479	0.175			

3. táblázat Fűkaszák rezgésterhelés adatai, azok szórása (SD) és a variációs együtthatók (CoV).

A jelentős szóródás az eszközök eltérő teljesítményéből következhet. A vizsgált eszközök közül mindössze egy fűkasza volt, amely által keltett rezgés sem alapjáraton, sem vágás során nem haladta meg a napi beavatkozási határértéket, viszont az expozíciós határértéket egy eszköz sem lépte túl. Ki kell emelni az alacsony rezgés kibocsátású eszközök alkalmazásának fontosságát.

A fogantyúkon és az egyes üzemmódokban mért rezgésterhelés értékek különbözősége viszonylag alacsony volt. Abból kiindulva, hogy a motorhoz közelebb eső fogantyún (ami általában a jobb oldali) elméletileg nagyobb rezgésértékek jelentkeznek, a kísérlet során is ezt vártam. Ezzel szemben azonban, alapjáraton, többségében éppen hogy a motorhoz közelebb eső fogantyún jelentkeztek az alacsonyabb rezgésértékek (kivétel Fűkasza1,3,5,7). A vágás során azonban az elméletnek megfelelően alakultak a rezgéseloszlások; csak 3 fűkasza volt, ahol a jobb oldali fogantyún voltak alacsonyabbak a kézre ható rezgésértékek. Mivel a gép kezelőszervei általában a jobb fogantyún (vagy a száron) találhatók, a magasabb rezgésterhelés még inkább megnehezíti a gép pontos kezelését a kéz gyorsabb fáradása miatt. Az ujjak zsibbadása és érzéketlenné válása a rezgés hatására potenciális veszélyforrást jelent a gépkezelőre nézve. Nem véletlen, hogy az egyes gyártók anti-vibrációs rendszerei főként a motorhoz közelebb eső, jobb fogantyú rezgésszigetelésének megoldására koncentrálnak (főként gumibakok beépítésével).

A mérések során meglehetősen nagy szórást tapasztaltam az egyes mérések között, ami magas, általában 10 % feletti variációs együtthatót eredményezett. Általánosságban alapjáraton alacsonyabbak voltak a variációs együtthatók, ami nem meglepő, lévén az eszközt a kezelők nem mozgatták, azt a kézi adapterrel együtt stabilabban tudták tartani, mint vágás közben. A bal és a jobb fogantyú között eltérő volt a rezgésértékek variációja; a bal fogantyún alapjáraton 7.2 % és 16.7 % között változott a variációs együttható, a jobb fogantyún pedig 7.6 % és 29.5 % között alakultak. A variációs együttható értéke vágáskor 6.3 % és 17.5 % között alakult a bal fogantyún, míg 9.1 % és 28.8 % volt a jobb fogantyún. Az eredmények arra utalnak, hogy a jobb fogantyún a gázkar működtetése során sokkal többször mozdult el a kézi adapter, ami viszont pontatlan vizsgálati eredményhez vezethet. A nagy szórás miatt fordulhatott az elő, hogy Fűkasza3 esetében vágás üzemmódban, alacsonyabbak voltak a kézre ható súlyozott teljes rezgés gyorsulás értékek, mint alapjáraton.

A fűkaszák keltette, kézre ható rezgésének oktáv/tercsávós elemzése lehetővé tette a domináns frekvenciatartomány meghatározását. A 4. táblázat mutatja, hogy a fűkaszák kézre ható rezgésterhelése az alacsonyabb frekvenciákon dominál; oktáv/sávós elemzésnél a

63 és 125 Hz középfrekvenciájú oktávsvágásban, a tercsávós elemzés során pedig a 80 és 160 Hz középfrekvenciájú tercsávokban volt a legnagyobb a súlyozott teljes rezgés gyorsulás.

4. táblázat A vizsgált fűkaszák kézre ható rezgésének domináns középfrekvenciái és az azon mért teljes rezgés gyorsulás értéke (6 mérés átlagában, vágás üzemmódban).

Fűkasza száma	Mérés helye	Domináns frekvencia Hz	a_{hi} ms ⁻²
1*	bal	125	16.884
	jobb	125	18.321
2*	bal	125	12.206
	jobb	125	14.899
3*	bal	63	15.712
	jobb	63	18.146
4*	bal	125	11.679
	jobb	125	15.327
5*	bal	63	12.790
	jobb	63	16.314
6*	bal	125	17.332
	jobb	125	13.692
7* és **	bal	125	12.005
	jobb	160	14.748
8**	bal	80	15.447
	jobb	100	19.237
9**	bal	100	22.471
	jobb	125	20.802
10**	bal	125	16.975
	jobb	125	18.226
11**	bal	100	10.643
	jobb	125	11.204

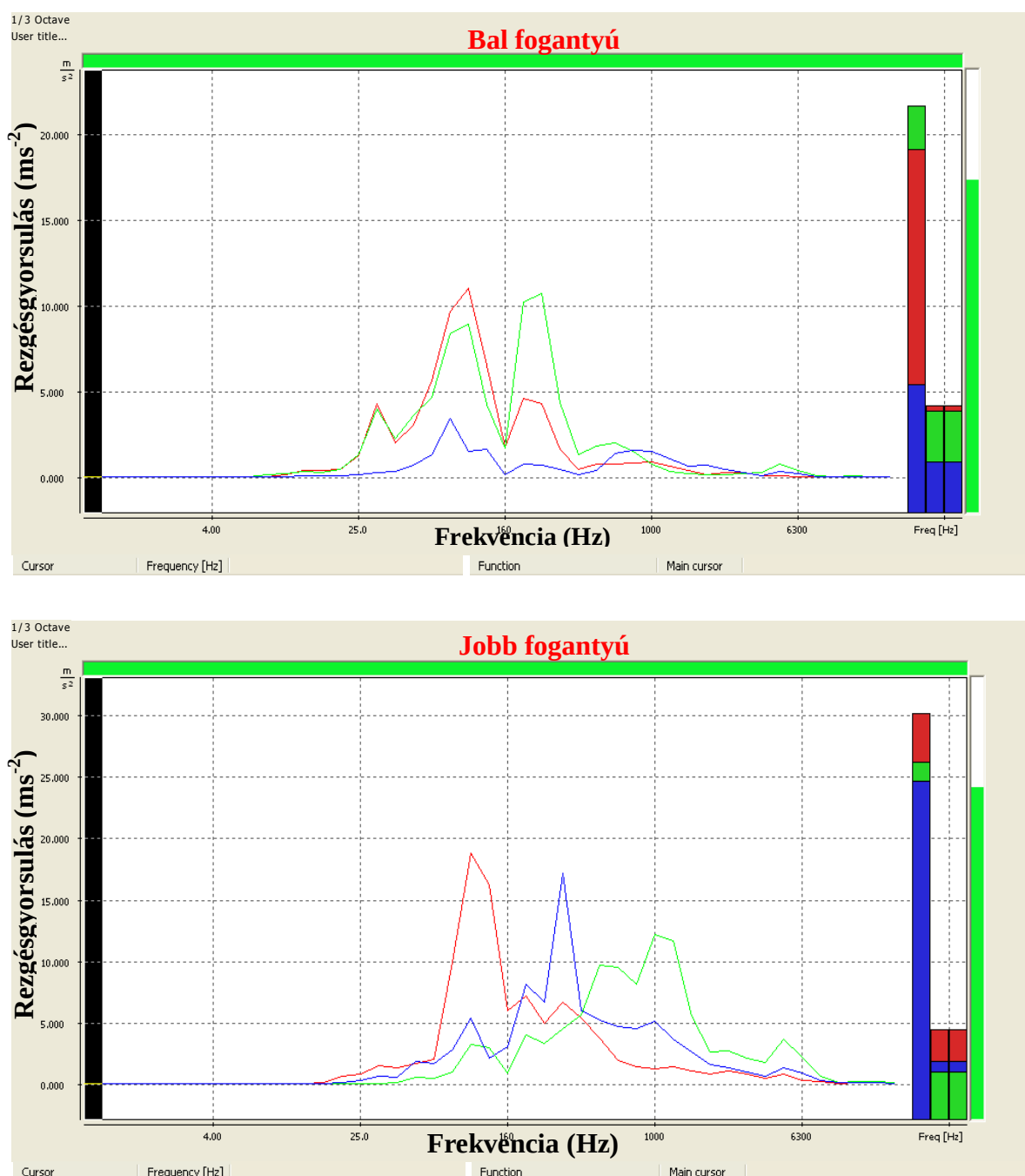
Megjegyzés: * oktávsvágással, ** tercsávsvágással

A 18. ábra Fűkasza9 kézre ható rezgésének tercsávós analízisét mutatja vágás üzemmódban x, y, és z irányokban, jobb és bal fogantyún. Az ábráról is látható, hogy a domináns frekvenciatartomány alapvetően megegyezik a két fogantyún, csak a rezgés amplitúdója változik. Ugyanakkor az is leolvasható, hogy az egyes irányok csúcserőit nem feltétlenül esnek a teljes rezgés gyorsulás meghatározta fő frekvenciatartományba.

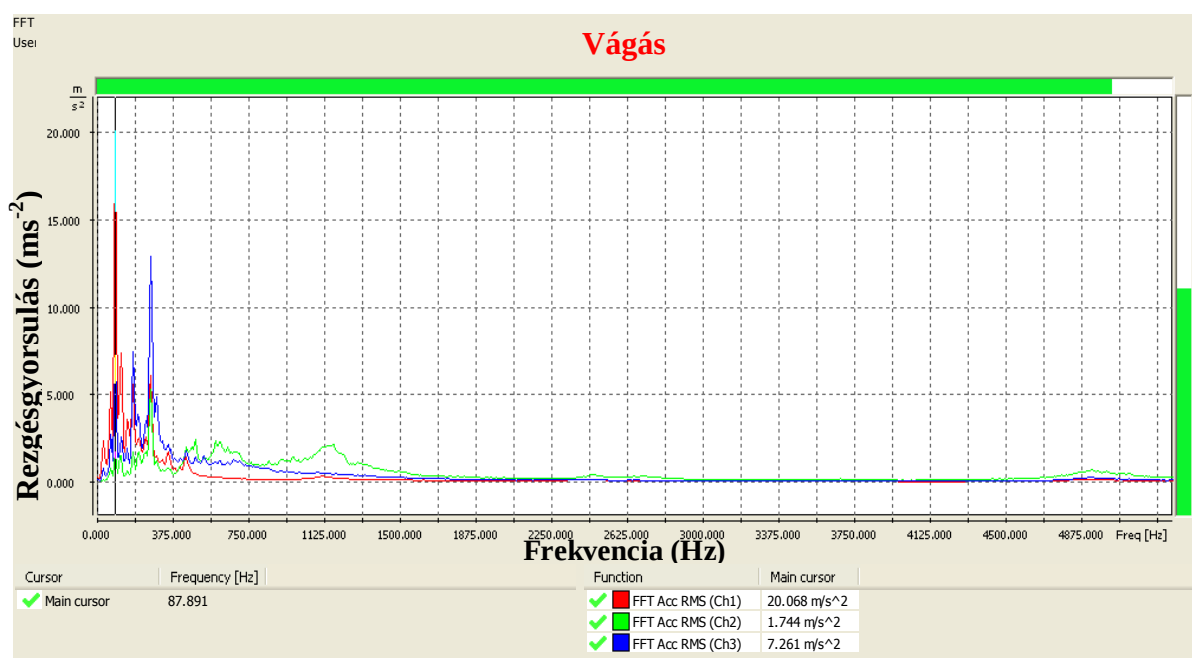
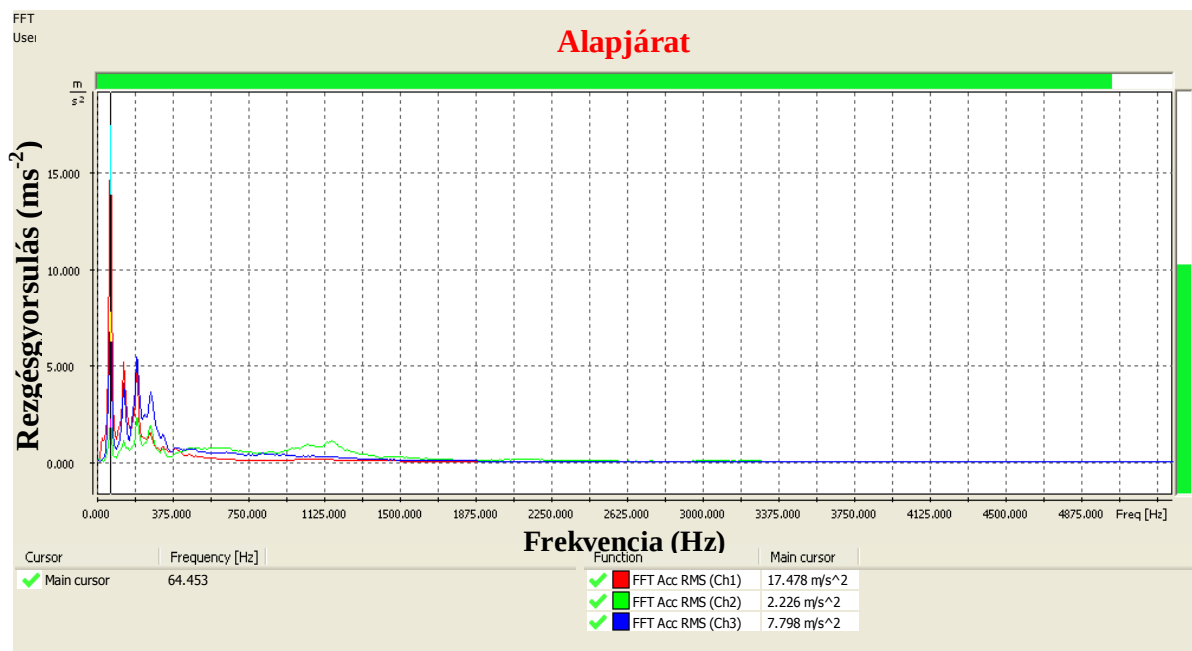
A keskenysávú analízis jól mutatja, hogy a vágófej forgó mozgása következtében mely frekvenciákon jelennek meg a rezgés felharmonikus összetevői. Az első csúcs 64 Hz-en jelentkezett, majd a második 129 Hz-nél, a harmadik 193 Hz-nél, és így tovább. Vágás közben a csúcsok némileg eltolódtak a magasabb frekvenciák irányába (19.ábra).

Azt feltételezve, hogy a fűkaszákat napi 4 órában használják vágás üzemmódban, a (2) (3) és (7) képlettel kiszámítható, hogy mekkora napi terhelés éri a gépkezelőt, illetve, hogy ilyen terhelés mellett hány év alatt jelentkezhetnek a kéz-kar vibrációs szindróma tünetei. (M.3.(a) táblázat, 3. melléklet). Látható, hogy mind alapjáraton, mind pedig vágáskor a rezgésterhelés többségében nem éri el a 2.5 ms⁻² beavatkozási határértéket. A gyakorlat

azonban azt mutatja, hogy a gépkezelők 4 órát meghaladó ideig használják az eszközöket és így már potenciális veszélynek vannak kitéve. A fehér ujj betegség 10 %-os valószínűségű megjelenése (a viszonylag alacsony napi terhelések miatt) 9.5 év és 19 év közé tehető a fenti kondíciókat nézve. A betegség megjelenése előtt azonban számos egyéb tünet, elváltozás következhet be, kezdve a kezek fáradásától, a fogóerő csökkenésétől, egészen a kézidegek károsodásáig és az érzékelés csökkenéséig.



18. ábra Fűkasza9 kézre ható rezgésének képe tercsávos felbontásban a bal és jobb fogantyún mérve, vágás közben (— x tengely, — y tengely, — z tengely).



19. ábra Fűkasza8 kézre ható rezgésének keskenysávú analízise, alapjárat és vágás üzemmódban, a bal, motorhoz közelebb eső markolaton mérve (5 Hz felbontás mellett; — x tengely, — y tengely, — z tengely).

Fűnyírók

A doktori vizsgálatokba négy benzinmotoros fűnyírót is bevontam. Ez az eszköz elsősorban a házikertben és a parkokban gyepápolási célokra alkalmas és jellemzően napi néhány órás munkavégzés történik ezzel. Annak ellenére, hogy az önjáró fűnyírók napi 8 órás rendszeres használata még a parkápolás területén sem általános, jelentős rezgés kibocsátása hozzájárulhat egy esetleges megbetegedés kialakulásához. Ezen

túlmenően néhány órás fűnyírás gyakran eredményezi a kezek fáradását, átmeneti érzékelés csökkenést.

Az 5. táblázat foglalja össze a vizsgált fűnyírók keltette, kézre ható rezgésének súlyozott rezgésgyorsulás értékeit és az oktáv, vagy tercsávós analízis során megállapított domináns középfrekvenciákat a súlyozott rezgésgyorsulásokkal.

5. táblázat Fűnyírók rezgésterhelésének adatai (6 mérés átlagában), azok szórása (SD), a variációs együtthatók (CoV) és azon középfrekvenciák (oktáv/tercsávban), amelyen a legnagyobb volt a súlyozott teljes rezgésgyorsulás.

Mérési pont	Írány	fűnyíró 1*					fűnyíró 2*				
		rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	a _{hi} ms ⁻²	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	a _{hi} ms ⁻²
bal kéz	x	3.472	0.648	0.187			2.877	0.402	0.140		
	y	3.779	0.424	0.112			1.753	0.184	0.105		
	z	2.067	0.521	0.252			1.995	0.285	0.143		
	a _{hv}	5.532	0.627	0.113	63	12.467	3.915	0.492	0.126	31,5	9.783
jobb kéz	x	3.212	0.473	0.147			3.107	0.636	0.205		
	y	3.084	0.399	0.129			1.982	0.321	0.162		
	z	2.475	0.410	0.166			2.366	0.362	0.153		
	a _{hv}	5.094	0.486	0.095	63	13.475	4.379	0.447	0.102	31,5	7.960
bal kéz VÁGÁS	x	3.670	0.552	0.150			2.691	0.402	0.149		
	y	4.107	0.293	0.071			1.904	0.277	0.145		
	z	3.007	0.416	0.138			2.583	0.206	0.080		
	a _{hv}	6.275	0.377	0.060	63	19.085	4.188	0.299	0.071	63,0	13.582
jobb kéz VÁGÁS	x	3.846	0.678	0.176			3.456	0.557	0.161		
	y	3.319	0.476	0.143			2.240	0.414	0.185		
	z	4.582	0.557	0.122			3.011	0.398	0.132		
	a _{hv}	6.841	0.630	0.092	63	16.664	5.102	0.512	0.100	63,0	12.768
Mérési pont	Írány	fűnyíró 3**					fűnyíró 4**				
		rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	a _{hi} ms ⁻²	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	a _{hi} ms ⁻²
bal kéz	x	4.714	0.618	0.131			5.904	0.572	0.097		
	y	3.955	0.375	0.095			3.811	0.411	0.108		
	z	6.334	0.366	0.058			7.170	0.476	0.066		
	a _{hv}	8.831	0.508	0.058	50	25.814	10.039	0.507	0.051	50	31.748
jobb kéz	x	3.377	0.554	0.164			4.887	0.465	0.095		
	y	1.875	0.418	0.223			1.175	0.673	0.573		
	z	5.481	0.337	0.061			5.029	0.628	0.125		
	a _{hv}	6.705	0.392	0.058	63	18.883	7.110	0.521	0.073	50	29.017
bal kéz VÁGÁS	x	4.620	0.578	0.125			4.752	0.784	0.165		
	y	2.757	0.440	0.160			3.176	0.432	0.136		
	z	6.589	0.626	0.095			6.880	0.804	0.117		
	a _{hv}	8.506	0.538	0.063	63	28.902	8.944	0.665	0.074	50	27.506
jobb kéz VÁGÁS	x	4.062	0.521	0.128			4.529	0.619	0.137		
	y	2.213	0.411	0.186			2.467	0.387	0.157		
	z	5.397	0.491	0.091			5.572	0.577	0.104		
	a _{hv}	7.108	0.467	0.066	63	23.426	7.592	0.596	0.078	50	33.422

Megjegyzés: * oktávsvázűrővel, ** tercsávsvázűrővel

A négy fűnyíró kézre ható rezgésterhelése 3.915 ms^{-2} r.s.s. (Fűnyíró2) és 10.039 ms^{-2} r.s.s. (Fűnyíró4) között változott, a fűnyírók eltérő teljesítményének köszönhetően. A jobb és balkézrel végzett mérések eredményei között, csak úgy, mint az előzőekben, különbségek adódtak; a legnagyobb Fűnyíró4 estében alapjáraton, 41 % volt. Az előző gépcsoporttól eltérően itt fűnyírónként és működési módonként változott, hogy mely mérési ponton volt nagyobb a kézre ható rezgésterhelés. A működési módot tekintve, többségében a vágás eredményezett nagyobb rezgésterhelést az alapjáráthoz viszonyítva. Ebben az eredményben nagy valószínűséggel a talajviszonyok (göröngyösség, buckák, stb.) is közrejátszottak; a motor és a működő részek rázkódása, az esetleges kiegyensúlyozatlanság növelhették a vizsgált fűnyírók keltette rezgést.

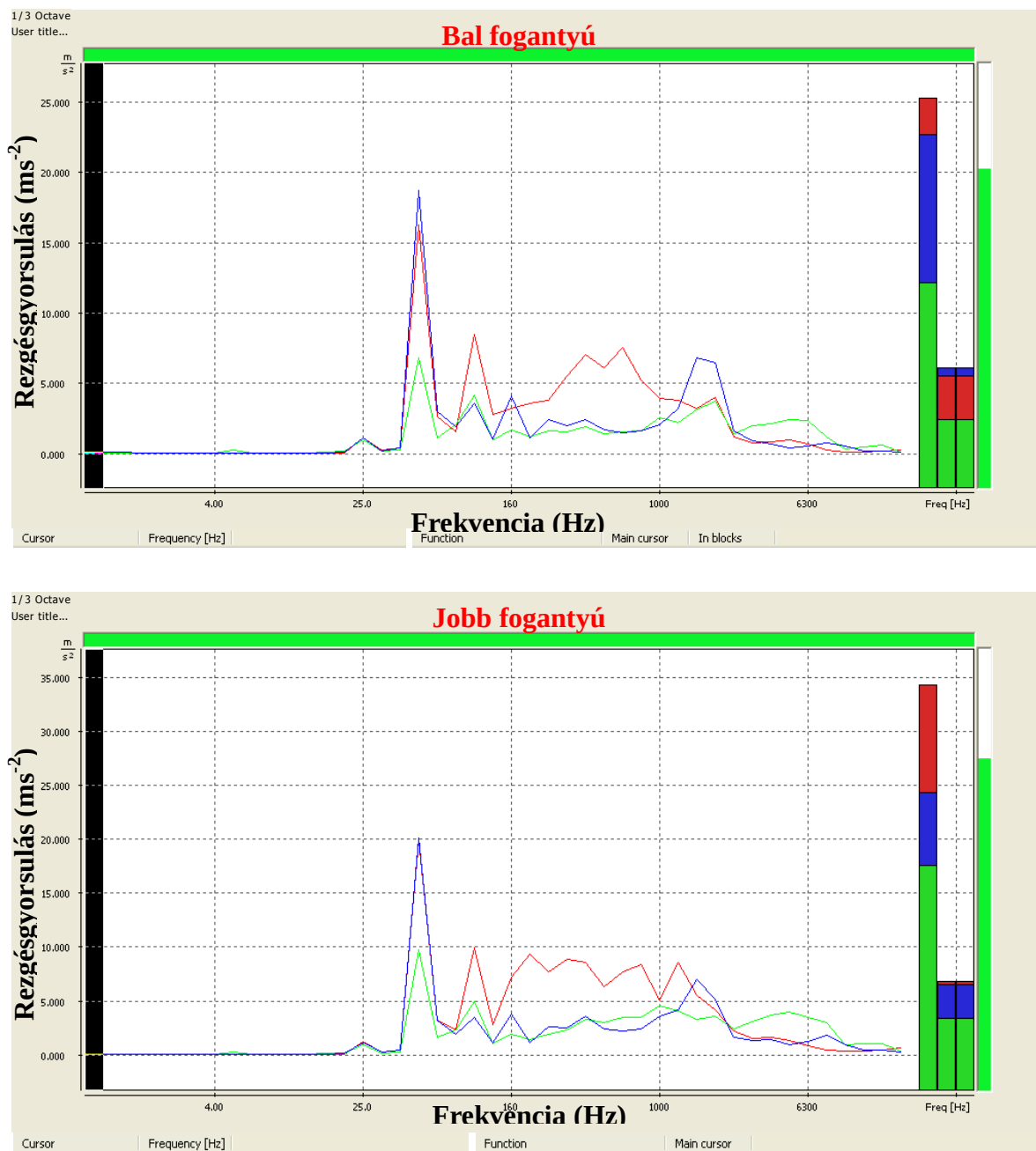
A mérések szórása meglehetősen magas volt mind alapjáraton, mind vágás közben, ami az a_{hv} értékek 5 %-nál nagyobb variációs együtthatóját eredményezte. A mérések során megfigyeltem, hogy a többi eszközhöz viszonyítva, a fűnyírók vízszintes fogantyúján volt a legnehezebb a gépkezelőknek azonos pozícióban tartani az érzékelőt az adapterrel. Ez mindenképpen megkérdőjelezi a kézi adapterrel mért eredmények megbízhatóságát.

Az oktáv- és tercsávós elemzések átlaga azt mutatta, hogy a fűnyírók legnagyobb súlyozott rezgésgyorsulás értékei 100 Hz alatt jelentkeznek; 31,5 és 63 Hz középfrekvencia közé tehetők (5. táblázat). A 20. ábra a bal és jobb kézen mért rezgés tercsávós elemzését mutatja. Látható, hogy az 50 Hz középfrekvenciát követően 100 Hz középfrekvencián egy kisebb csúcs jelentkezik.

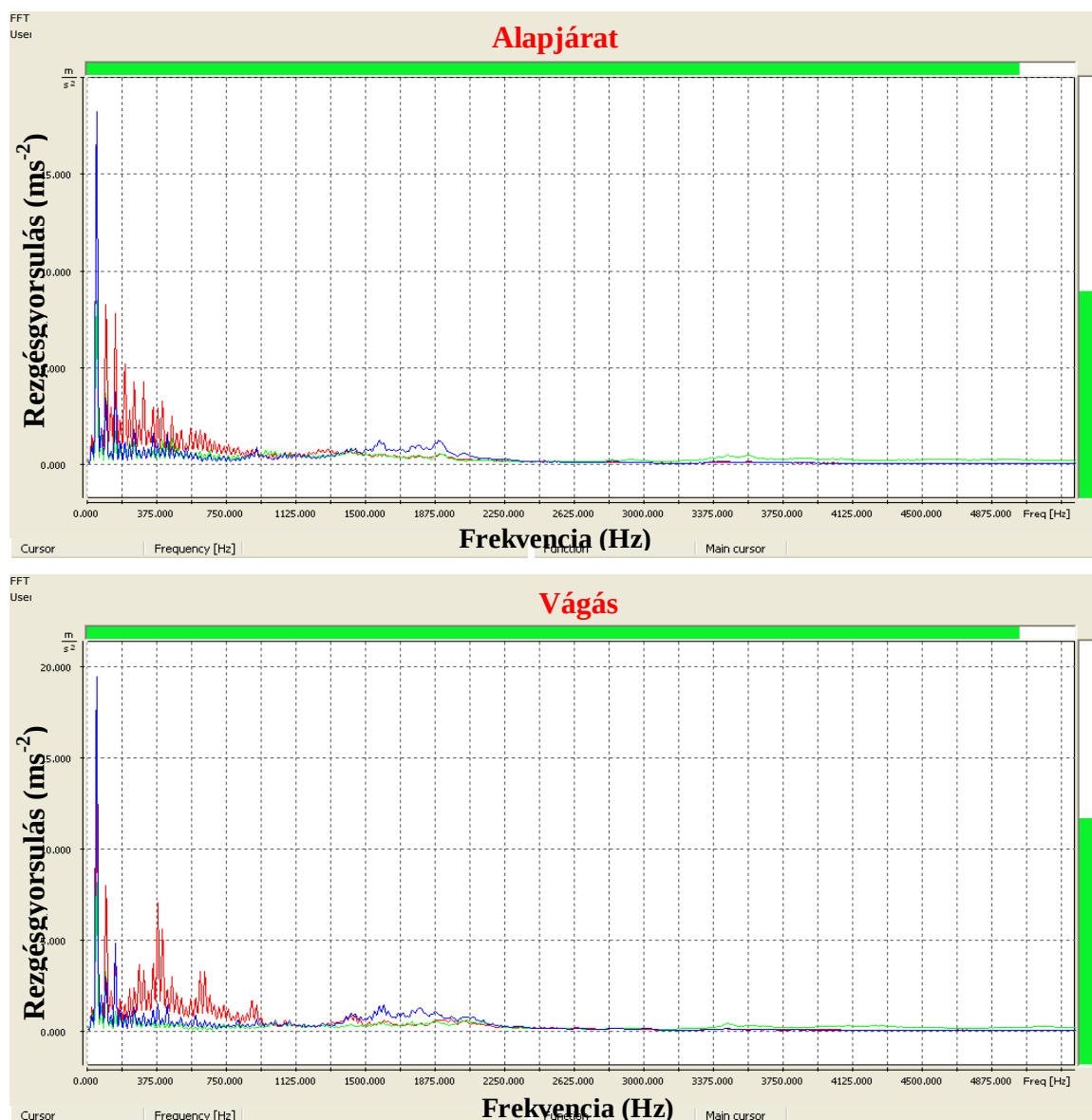
A gépek keskenysávú analízise jól mutatja a forgó mozgást végző kések gerjesztette felharmonikusok szabályosságát. Fűnyíró3 esetében például 64 Hz-en jelentkezett a legnagyobb teljes rezgésgyorsulás, majd a csúcsok megközelítőleg 64 Hz-enként követték egymást egyre gyengülő amplitúdóval (21. ábra).

Az M.3.(b) táblázata (3. melléklet) mutatja a napi 4 órás feltételezett használat mellett számított napi rezgésterhelés értékeket. Látható, hogy mind a négy fűnyíró kézre ható rezgésterhelése meghaladta a beavatkozási határértéket, sőt ilyen kondíciók mellett, Fűnyíró3,4 napi 4 órára számított rezgésterhelése meghaladta az expozíciós határértéket is. Ez azt jelenti, hogy ahhoz, hogy ezeket az eszközöket biztonságosan használni lehessen, csökkenteni kell az expozíciós időt; azonban az A(8) érték még napi egy órás használat mellett is meghaladná a beavatkozási határértéket ennél a két eszköznél. A fehér ujj megjelenése, 10 %-os valószínűség mellett, 4.7 és 10.1 év közé tehető. Általában azonban a fűnyírókat nem napi rendszerességgel, hanem más eszközök mellett alkalmazzák. A kézre

ható rezgés jelentős értékei következtében a fűnyíró számottevő mértékben járulhat hozzá a napi rezgésterheléshez még rövid idejű használat esetén is.



20. ábra Fűnyíró4 rezgésképe tercsávós felbontásban a bal és jobb fogantyún mérve, alapjáraton (— x tengely, — y tengely, — z tengely).



21. ábra Fűnyíró3 rezgésének keskenysávú analízise, alapjárat és vágás üzemmódban, a jobb kézen mérve (5 Hz felbontás mellett; — x tengely, — y tengely, — z tengely).

Sövényvágók

A doktori kutatásom során két elektromos és egy benzinmotoros sövényvágót vizsgáltam. A 6. táblázat összegzi az eredményeket. A benzines és elektromos sövényvágók kézre ható rezgésterhelése között nagy különbségek voltak; a benzines sövényvágó esetében az a_{hv} érték 2.243 ms^{-2} r.s.s. és 4.777 ms^{-2} r.s.s. között változott, amíg az elektromos változatok maximum a_{hv} értéke 3.163 ms^{-2} r.s.s. volt. Mindhárom eszköznél a vágás üzemmódban megnőtt a rezgésterhelés; a legnagyobb, 80 %-os növekedést az alapjárhoz képest a benzines, Sövényvágó1 esetében tapasztaltam. Az első és hátsó fogantyúkon mért a_{hv} értékek viszonylag közel estek egymáshoz; a legnagyobb eltérés 28 % volt Sövényvágó2 esetében.

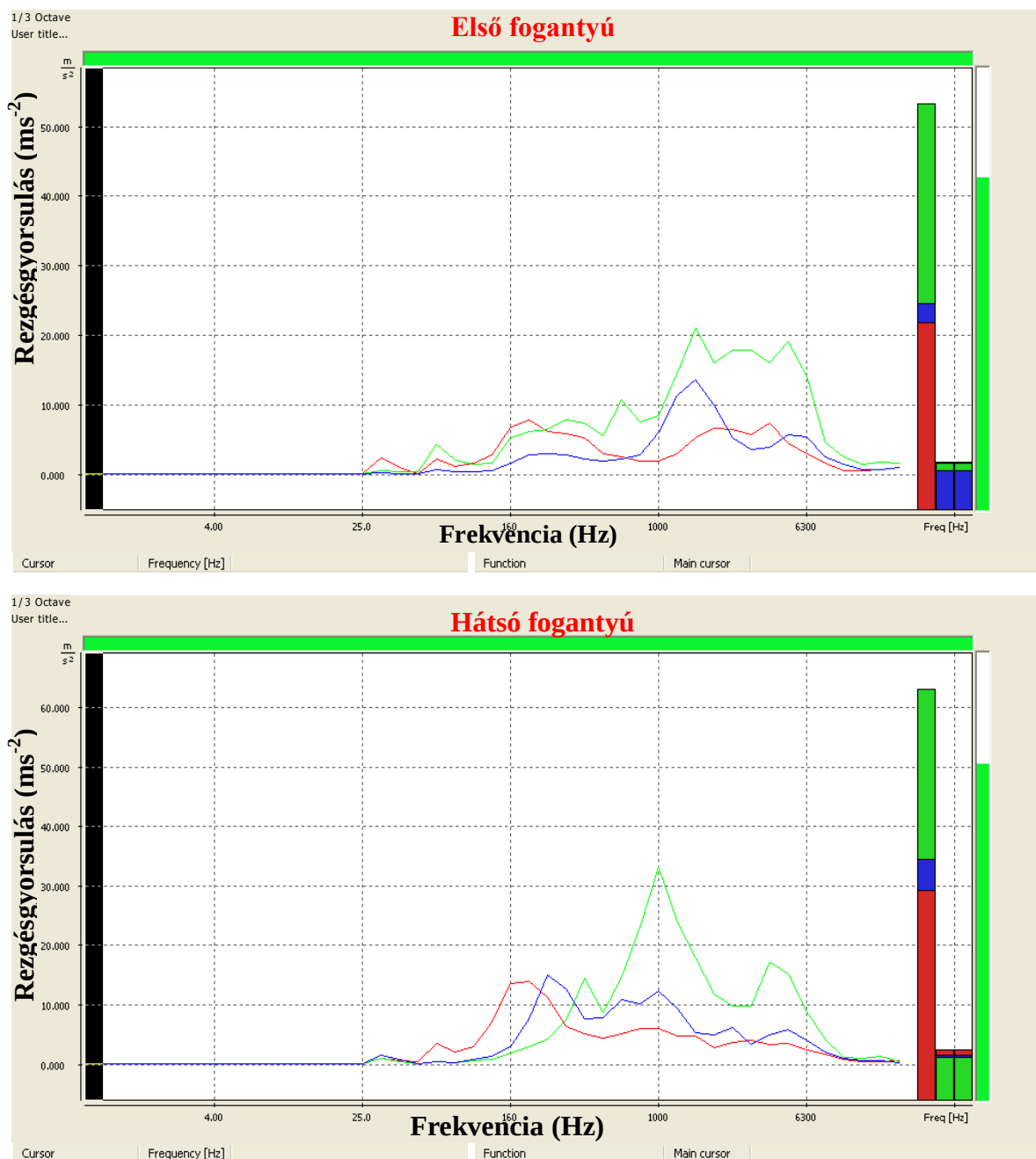
Mind a szórások, mind pedig a variációs koefficiensek ennél az eszközcsoportnál voltak a legalacsonyabbak. A teljes rezgés gyorsulás variációs koefficiens értéke 4.9 % és 14.6 % között alakult. A mérések közötti különbségek vizsgálatánál nem lehet meghatározni egy tendenciát sem; az üzemmód változása és a mérési hely változása minden eszköznél másként befolyásolja a variációs együttható alakulását.

6. táblázat Sövényvágók kézre ható rezgésterhelése (6 mérés átlagában), azok szórása (SD), a variációs együtthatók (CoV) és azon középfrekvenciák (oktáv/tercsávban), amelyen a legnagyobb volt a súlyozott teljes rezgés gyorsulás.

Mérési pont	Írány	sövényvágó 1*					sövényvágó 2**				
		rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	ahi ms ⁻²	rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	ahi ms ⁻²
első fogantyú	x	1.765	0.278	0.158			1,439	0.147	0.102		
	y	0.682	0.157	0.230			0,982	0.086	0.088		
	z	1.204	0.321	0.267			0,971	0.097	0.100		
	ahv	2.243	0.288	0.128	125	26.066	1,994	0.123	0.062	800	17.571
hátsó fogantyú	x	1.642	0.374	0.228			1,563	0.134	0.086		
	y	1.331	0.275	0.207			1,107	0.106	0.096		
	z	1.805	0.421	0.233			1,134	0.433	0.382		
	ahv	2.780	0.405	0.146	250	35.820	2,226	0.169	0.076	1000	24.663
első fogantyú VÁGÁS	x	2.446	0.400	0.164			1,470	0.296	0.201		
	y	1.588	0.252	0.159			1,231	0.174	0.141		
	z	2.801	0.264	0.094			1,316	0.254	0.193		
	ahv	4.044	0.378	0.093	125	42.771	2,326	0.267	0.115	1000	20.572
hátsó fogantyú VÁGÁS	x	3.215	0.442	0.137			1,974	0.375	0.190		
	y	1.917	0.198	0.103			1,245	0.278	0.223		
	z	2.968	0.368	0.124			1,853	0.296	0.160		
	ahv	4.777	0.419	0.088	125	57.653	2,980	0.304	0.102	1000	29.779
Mérési pont	Írány	sövényvágó 3**									
		rezgés- gyorsulás ms ⁻² rms	SD	CoV	domináns frekvencia Hz	ahi ms ⁻²					
első fogantyú	x	1.763	0.154	0.087							
	y	1.685	0.097	0.058							
	z	0.742	0.192	0.259							
	ahv	2.549	0.162	0.064	1600	22.745					
hátsó fogantyú	x	2.136	0.104	0.049							
	y	1.507	0.189	0.125							
	z	0.688	0.075	0.109							
	ahv	2.703	0.133	0.049	1000	34.868					
első fogantyú VÁGÁS	x	2.254	0.202	0.090							
	y	1.736	0.143	0.082							
	z	0.802	0.117	0.146							
	ahv	2.956	0.154	0.052	1600	24.853					
hátsó fogantyú VÁGÁS	x	2.295	0.173	0.075							
	y	1.521	0.208	0.137							
	z	1.557	0.155	0.100							
	ahv	3.163	0.198	0.063	1000	31.627					

Megjegyzés: * oktávsvázűrővel, ** tercsávsvázűrővel

Az oktáv- és tercsávós elemzés során egyértelmű volt a benzinmotoros és elektromos sövényvágók közötti különbség; a benzinmotoros eszközön mért legnagyobb a_{hv} értékek alacsonyabb oktávsvámban jelentkeztek, 125 illetve 250 Hz középfrekvenciákon. Ezzel szemben az elektromos eszközökkel a 800 és 1600 Hz közötti középfrekvenciákon volt a legnagyobb a súlyozott teljes rezgésgyorsulás értéke. A benzinmotoros eszköznél jól elkülöníthető volt a domináns oktávsvám, azonban az elektromos sövényvágók kézre ható rezgésének tercsávós elemzésekor minden irányban más más középfrekvenciákon jelentkeztek a csúcsértékek (22. ábra).



22. ábra Sövényvágó2 rezgése képe tercsávós felbontásban első és hátsó fogantyún mérve, alapjáraton (— x tengely, — y tengely, — z tengely).

A keskenysávú analízis hasonló változatos képet mutatott az elektromos sövényvágóknál az egyes irányokban mért rezgésgyorsulások tekintetében (M.3.(a) ábra, 3. melléklet).

Az elektromos sövényvágók viszonylag alacsony rezgésemissziója azt eredményezte, hogy Sövényvágó2 még napi 8 órás használat mellett sem lépi át a napi beavatkozási határértéket. Napi 4 óra használat mellett az M.3.(c) táblázat (3. melléklet) mutatja miként alakulnak a napi rezgésterhelések. Egyedül a benzines sövényvágó napi rezgésterhelése haladja meg a beavatkozási határértéket. Mivel azonban a sövényvágókat is általában más eszközökkel együtt használják egy munkaütemben, ezért a kézre ható rezgés értékelésénél az adott munkaciklus során használt, összes eszközre kalkulált napi összeterhelés számítása fontosabb információt hordoz.

5.1.2. A mérési idő hosszának hatása a teszt eredményére

Az ISO 5349:2001 szabvány nem határozza meg gépcsoportokra lebontva a kézre ható rezgés értékeléséhez szükséges minimális mérési időt. A doktori munka keretében végzett jelentős mennyiségű rezgésmérés időigényessége miatt minimálisnak kellett azok hosszát megválasztani. A rezgésmérés időtartamának meghatározásánál figyelembe kellett vennem, hogy a rezgés típusa (periodikus, nem periodikus, lökés), illetve az eszköz működtetésének módja befolyásolhatja az eredményt. A vizsgálatot Fűnyíró2 eszközzel végeztem el alapjáraton. A 7. táblázat foglalja össze az eszközzel, 3 gépkezelővel, 8 ismétlésben végzett mérési eredményeket, azok szórását (SD) és a variációs együtthatót (CoV). Mint ahogyan az már az előző fejezetben látható volt, a mérési ponttól függően (jobbkez-balkéz) számottevő különbségek adódtak az a_{hv} értékekben.

Általánosságban elmondható, hogy a vizsgált fűnyíró esetében a 10 s és 60 s mérési idő mellett volt a legnagyobb a súlyozott teljes rezgésgyorsulás (7. táblázat). Ez abból adódhatott, hogy a rövid idő alatt az r.m.s. számítás nem ad pontos képet a gép valós rezgés kibocsátásáról, mivel bármilyen kis behatás sokkal jobban érvényesül a végeredményben. Ezt jól mutatja az M.4. ábra (4. melléklet), ahol bal kézzel mért két 10 s hosszúságú mérés eltérő időbeni alakulása látható. A 60 s, mint referenciaérték kellően hosszú mérési időnek tekinthető, lévén az alapjárat (és az adott fordulatszámon, szabványszerűen üzemeltetett vágás járat) során fellépő kéz-kar rezgés állandó.

7. táblázat Fűnyíró2 különböző mérési időkkal rögzített rezgésterhelés adatai, azok szórása (SD) és a variációs együtthatók (CoV).

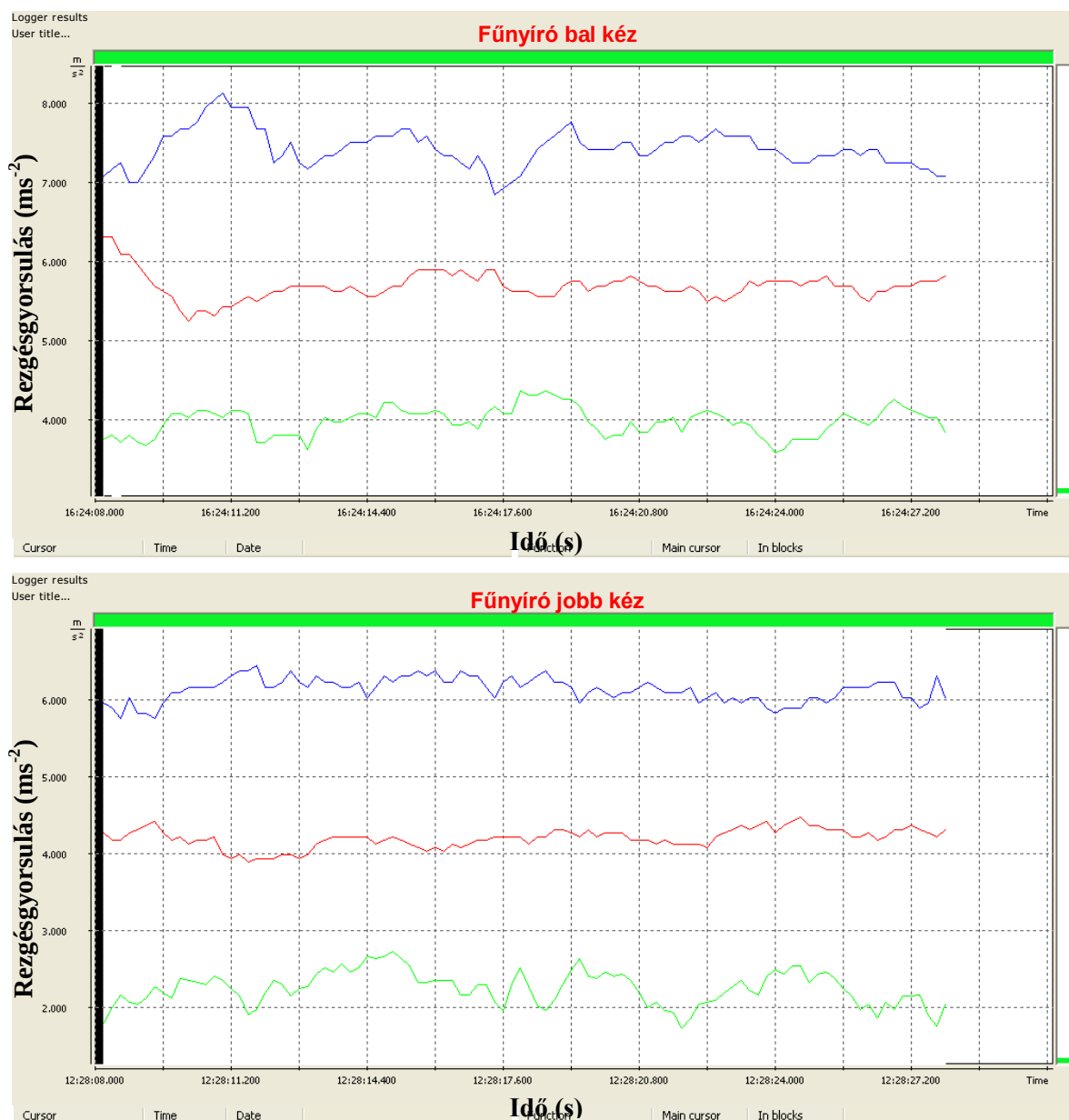
Eszköz	Mérési pont	Időtartam s	1. gépkezelő			2. gépkezelő		
			a_{hv} ms^{-2} rss	SD	CoV	a_{hv} ms^{-2} rss	SD	CoV
fűnyíró	bal kéz	10	10.740	1.048	0.098	10.978	1.112	0.101
		20	10.580	0.418	0.039	10.357	0.602	0.058
		30	10.839	0.633	0.058	11.566	0.467	0.040
		60	9.893	0.627	0.063	11.059	0.815	0.074
	jobb kéz	10	9.285	0.811	0.087	8.887	0.658	0.074
		20	8.498	0.383	0.045	8.963	0.541	0.060
		30	8.942	0.548	0.061	9.023	0.489	0.054
		60	9.126	0.831	0.091	10.279	1.103	0.107

Eszköz	Mérési pont	Időtartam s	3. gépkezelő			gépkezelők átlaga		
			a_{hv} ms^{-2} rss	SD	CoV	a_{hv} ms^{-2} rss	SD	CoV
fűnyíró	bal kéz	10	11.431	0.984	0.086	11.050	0.351	0.032
		20	9.754	0.514	0.053	10.230	0.427	0.042
		30	9.954	0.505	0.051	10.786	0.808	0.075
		60	10.192	0.967	0.095	10.381	0.605	0.058
	jobb kéz	10	9.315	0.779	0.084	9.162	0.239	0.026
		20	9.189	0.472	0.051	8.883	0.353	0.040
		30	8.456	0.903	0.107	8.807	0.307	0.035
		60	9.525	1.123	0.118	9.643	0.585	0.061

A 23. ábra egy példa a rezgés gyorsulás jelek időbeni alakulására az x, y és z irányokban 20 s mérési idő mellett két mérési ponton, az első gépkezelővel. Az ábra alapján megállapítható, hogy a fűnyíró esetében a rezgés gyorsulás értékek időbeni változása a 20 s mérési idő mellett állandó.

A 8 ismétlés lehetőséget adott arra, hogy megvizsgáljam az egyének egyes mérési eredményeinek változatosságát (intra-subject variability). Látható, hogy az egyes kondíciókban más és más volt a mérések ismételhetsége (7. táblázat). A vizsgált fűnyíró esetében mind a bal, mind pedig a jobb kézen a 10 s mérési idő mellett volt a legnagyobb a rezgés gyorsulás értékek variációja (7.4 %-tól 10.1 %-tól). Rövid mérési idő mellett nagyobb a valószínűsége, hogy a motor egyenetlen járása vagy a szorítóerő változásával a kézi adapter elmozdulása befolyásolja a mérést. A legnagyobb eltérést a vizsgált fűnyírónál az x irányban (tenyérre merőleges irány) tapasztaltam; a rezgés gyorsulás értékek 5.303 ms^{-2} r.m.s. és 9.246 ms^{-2} r.m.s értékek között változtak. Hosszabb mérési idő mellett elvileg az adapter elmozdulásának befolyásoló hatása kevesebb súlyt kap az átlagolás során. A 60 s mérési idő mellett ugyanakkor nem csökkent az ismétlések közötti eltérés, éppen ellenkezőleg; a 20 és 30 s idővel mért értékek kisebb variációs együtthatóval rendelkeztek. Ez a gépkezelők kezének fáradásából adódott. A gépkezelőre nézve nagy rezgésterhelést

jelentő eszközök kézben tartása során a kezelők feltehetőleg nem tudták fix pozícióban tartani a kézi adaptert, ami rontotta a teszteredmények ismételhetőségét.



23. ábra Fűnyíró 2 rezgés gyorsulás értékei x (—), y (—) és z (—) irányban, két mérési ponton, 20 s mérési idő mellett.

A három gépkezelővel kapott eredmények összehasonlításakor látszik, hogy a kezelők eredménye közötti eltérés kisebb, mint az egyéni ismétlések varianciája. Érdekes megfigyelni, hogy habár az egyéni ismétlések közötti eltérés a mérési idő növekedésével csökkent (30 s és 10 s között), az egyének közötti differencia a mérési idő növekedésével nőtt. Az eredmények alapján az javasolható, hogy a kézrezgések értékelésekor célszerűbb lenne inkább kevesebb tesztszeméllyel, de több ismétlésben elvégezni a vizsgálatokat.

Mivel sem a túl rövid (10 s), sem a túl hosszú (60 s) mérési idő nem bizonyult jó választásnak az ismételhetőség, és így a tesztek megbízhatósága szempontjából, ezért a 20 s és 30 s mérési időhosszt találtam elfogadhatónak. A 9. táblázatból kiolvasható, hogy a variációs együttható alakulása a gépkezelő személye szerint közel azonos arányban változik a két mérési idő mellett. Ezen túlmenően a két mérési idővel kapott a_{hv} értékek közül szinte azonos arányban esnek közelebb a 60 s idővel kapott eredményhez (feltételezve, hogy a hosszabb mérési idő reprezentatívabb az eszköz rezgés kibocsátását illetően). Az ismételhetőség, a rezgésterhelés értékek, és az egyének közötti eltérések szempontjából tehát mindkét időtartam megfelelő lenne, ezért a mérések gyorsabb kivitelezhetősége miatt a doktori kutatásom során a 20 s mérési idő alkalmazása mellett döntöttem.

5.1.3. Új eszközök rezgés kibocsátása és használt eszközök rezgésterhelése

Az EU gépekről szóló 2006/42/EK irányelve rendelkezik arról, hogy a gyártónak a használati utasításban fel kell tüntetnie a gép rezgés kibocsátását. Mint az az irodalmi áttekintésből látható volt, meglehetősen csekély számú tudományos vizsgálat történt annak megállapítására, hogy miként változik a kézre ható rezgés mértéke a gépek használata során az új gépekre megadott rezgés kibocsátáshoz képest. A 8. táblázat foglalja össze a gyártó által új gépekre megadott rezgés kibocsátás és a doktori vizsgálatok során a már használatban lévő eszközökkel mért rezgésterhelés összevetését.

8. táblázat A használt gépeken mért és gyártó által új gépekre megadott a_{hv} értékek összevetése (6 mérés átlagában).

A kisgépek doktori disszertációban használt megnevezése	gyártó által megadott a_{hv} ms^{-2} új eszközre		doktori vizsgálat során mért a_{hv} ms^{-2}	
	jobb (első) fogantyú	bal (hátsó) fogantyú	jobb (első) fogantyú	bal (hátsó) fogantyú
fűkasza 1-7	3.6	3.0	2.078-3.595/ 2.319*-3.706*	1.880-3.1068/ 2.370*-3.446*
fűkasza 8	11.8/8.7*	6.8/8.6*	3.735/4.122*	4.276/4.381*
fűkasza 9	4.5	3.7	3.833/4.469*	4.325/4.395*
fűkasza 10	2.5	2.9	4.158/4.232*	4.421/4.400*
fűkasza 11	3.0	2.6	2.442/2.734*	2.581/2.688*
fűnyíró 1	n.i.		5.094/6.841*	5.533/6.275*
fűnyíró 2	4.1	3.0	4.379/5.102*	3.915/4.188*
fűnyíró 3	<2.5		6.705/7.108*	8.831/8.506*
fűnyíró 4	n.i.		7.110/7.592*	10.039/8.944*
sövényvágó 1	1.4/4.5*	1.5/3.8*	2.243/4.044*	2.779/4.777*
sövényvágó 2	3.6		1.994/2.326*	2.226/2.980*
sövényvágó 3	4.2		2.549/2.956*	2.703/3.163*

Megjegyzés: n.i.= műszaki leírásban nincs megadva, * = vágás közben

A táblázatból látható, hogy két olyan eszköz is volt (régebbi típusúak), amelynek a leírása nem tartalmazta a rezgés kibocsátására vonatkozó információkat. A 18 vizsgált kisgép közül csak kettő volt olyan (Fűkasza8 és Sövényvágó1) amelynél a gyártó megadta az alaplátra és vágáskor fellépő súlyozott teljes rezgés gyorsulás értékeit. Ez azért volna lényeges, mivel az alap- és a vágás közbeni fordulatszám eltérés miatt változik egy eszköz rezgés kibocsátása (Mallick 2008, 2009). A fűnyírók és sövényvágók esetében általános volt, hogy a rezgés kibocsátás jellemzésére csak egy a_{hv} értéket használtak. Az nem derült ki egyik esetben sem, hogy ezt az értéket melyik fogantyún mérték, illetve, hogy esetleg ez a két fogantyún mért rezgések átlaga lenne-e. Az előző fejezetekben bemutatottak alapján, vagyis, hogy a két fogantyún mért rezgésértékek jelentősen eltérhetnek egymástól, egy érték megadása nem jellemzi megfelelően a gép rezgésemisszióját és hibás számítást eredményez, például a napi rezgésterhelés megbecsülésekor.

A 8. táblázat alapján megállapítható, hogy a gyártó által, új gépekre megadott rezgés kibocsátás és valós üzemi körülmények között, a használt gépeken mért kézre ható rezgés mértéke jelentősen eltérhet egymástól. Általában elmondható, hogy a vizsgált eszközök valós üzemi körülmények között, nagyobb rezgésterhelést eredményeztek a kezelő számára, mint az a bevizsgált rezgés kibocsátásukból várható lett volna. Ez különösen a bal oldali, vagy hátsó fogantyún volt számottevő. A jobb oldali fogantyúkon mért alaplátra és vágás közbeni értékek átlaga, néhány kivételtől eltekintve, megközelítette a gyártó által, új gépekre meghatározottat. Fűnyíró3-at kézre ható rezgés szempontjából egy beavatkozási határérték alatti eszköznek minősítették ($a_{hv} < 2.5 \text{ ms}^{-2}$), ezzel szemben a már használatban lévő eszközön, alaplátra mért rezgésterhelés meghaladta a 8 ms^{-2} értéket. Ezzel ellentétben néhány sövényvágó és fűkasza egyes fogantyúin alacsonyabb volt a mért kézre ható rezgés, mint a megadott rezgés kibocsátás. A használt gépeken mért és gyártó által új gépekre meghatározott rezgés kibocsátás értékek eltérését több korábbi tanulmány is igazolta eltérő gépcsoportokra (Edwards és Holt 2006, Rimmel *et al.* 2008). A jelentős különbségek több okra vezethetők vissza: a kertészetben is alkalmazott gépek rezgés kibocsátásának meghatározása alapvetően az ISO 20643:2008, ISO 22867:2008 és ISO 8662:1988 szabványok alapján történik, míg a kézre ható rezgés mérése (a gép keltette rezgésterhelés) az ISO 5349:2001 szabvány szerint zajlik. Annak ellenére, hogy a mérési módszerek hasonlóak, vannak olyan tényezők, amelyek eltérőek; a rezgés kibocsátás értékeléskor például meg kell határozni a K bizonytalansági tényezőt és a mérés ismételhetőségére vonatkozólag előírás, hogy a variancia vagy a szórás kisebb kell legyen 0.4-nél. A kézre ható rezgés mérésére vonatkozólag ilyen kitétel nincs. A másik lényeges

meghatározó ok az, hogy az általam vizsgált eszközök mindegyike már használt volt, tehát elképzelhető, hogy a használat során, illetve a megfelelő karbantartás elmulasztásával változhat az eszközök rezgés kibocsátása. Több láncfűrész használati utasítása például kiemeli, hogy különösen az életlen lánc, illetve az elhasználódott rezgéscsökkentő/rezgésszigetelő elemek növelik a gép által kibocsátott rezgést (Stihl 2008). Sajnos annak ellenére, hogy Magyarországon kötelező a kisgépek rendszeres felülvizsgálata, amellyel meg lehetne előzni egy kézre ható rezgés szempontjából már nem megfelelő eszköz további használatát, a gyakorlatban ez nem valósul meg maradéktalanul. A harmadik lehetséges ok maga a személyes tényező lehet. A méréseim során tapasztalt variancia arra hívja fel a figyelmet, hogy a gépet kezelőnek meghatározó szerepe lehet a kezére átadódó rezgés mérésének eredményében. A gépkezelésben való jártasságon túl lehetnek olyan tényezők, amelyek befolyásolják a kézre átadódó rezgés mértékét. A kutatások ugyanakkor máig nem találtak egyértelmű összefüggést olyan fizikai tényezők, mint például a kéz nagysága, vagy kar hossza és a kézre átadódó rezgés mértéke között. Ennek következtében meglehetősen nehéz egy szinte tökéletes mérési módszert kidolgozni. A doktori kutatásom során figyeltem meg, hogy a kézre ható rezgés mérésének ismételhetősége, ezáltal a megbízhatósága növelhető, ha több tesztalany részvételével kalkulálom a súlyozott teljes rezgés gyorsulás értékét.

5.1.4. A kisgép üzemóra számának szerepe a rezgésterhelés változásában

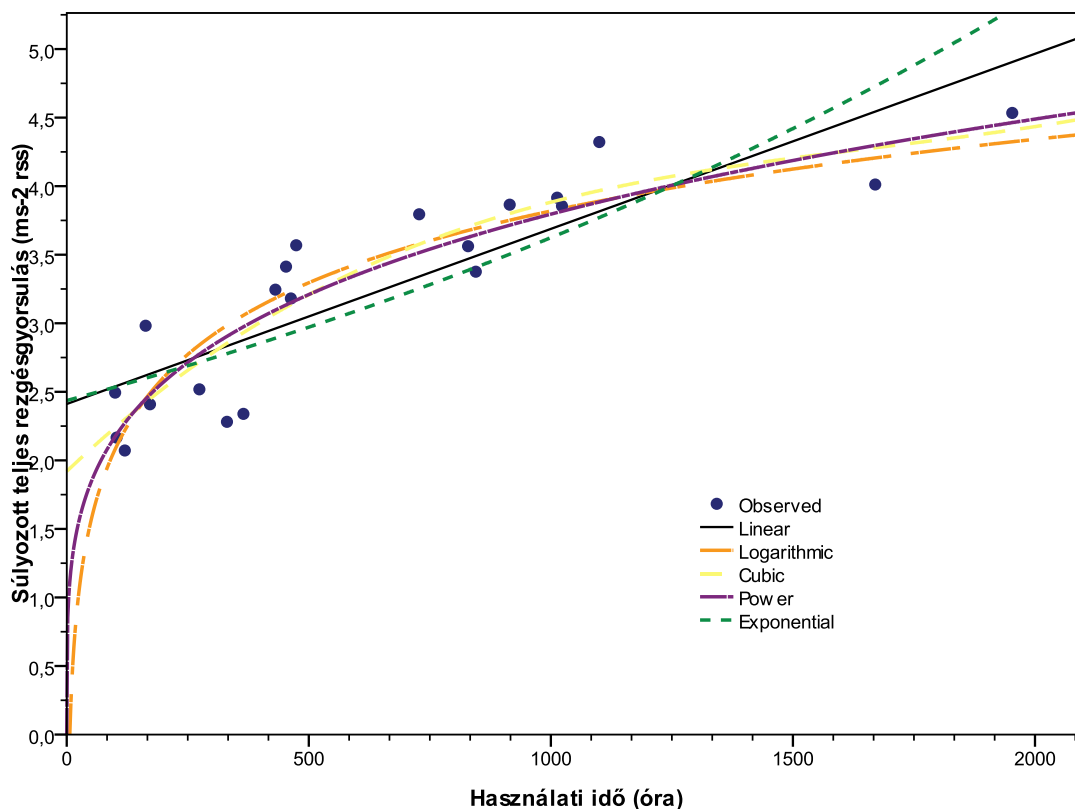
Az előző fejezetben bemutatásra került adatok alapján feltételezhető, hogy az üzemóra szám növekedésével változik az eszközök kézre ható rezgésterhelése. Doktori kutatásom egyik méréssorozatában 7 db azonos típusú fűkasza (Fűkasza1-7) rezgésterhelését vizsgáltam. A 9. táblázat foglalja össze a mérési eredményeket. A táblázatból kiolvasható, hogy az évek és az üzemóra szám növekedésével általában nőtt a súlyozott teljes rezgés gyorsulás értéke. Az is látható, hogy nem volt egy olyan irány sem, amely szisztematikusan a legnagyobb változást mutatta az üzemóra szám növekedésével. Általában véve mindhárom irányban nőtt a rezgés gyorsulás értéke; az első vizsgálati időponthoz képest a 2009-es mérések eredménye 19.5 % (Fűkasza7) és 80.8 % (Fűkasza4) között változó nagyságrendben volt nagyobb a vizsgált fűkaszák esetében. Az eredményekből az látszik, hogy az 1000 üzemóra körül teljesítő fűkaszák (Fűkasza3,4,6) közel azonos rezgésterhelést produkáltak, e fölött azonban az a_{hv} értékek meghaladták a 4 ms^{-2} r.s.s. értéket (Fűkasza1 2007-ben, Fűkasza1,2 2009-ben). Több olyan eszköz is volt a 2006-os vizsgálatban, amelynek a rezgésterhelése nem lépte túl a napi beavatkozási

határértéket, tehát elméletben a használata nem eredményez károsodást. Ezzel szemben azonban a harmadik év végére minden vizsgált eszközön mért kézre ható rezgés meghaladta a határértéket, ami felhívja a figyelmet az eszközök folyamatos ellenőrzésének szükségességére.

9. táblázat Három év alatt mért súlyozott teljes rezgésgyorsulás értékek azonos típusú fűkasza eszközökön (jobb és balkéz, illetve alap-és vágás fordulatszámokon mért értékek átlaga, 6 mérést alapul véve).

Eszköz	Irány	Az egyes években mért rezgésgyorsulás értékek ms^{-2} r.m.s.					
		2006. év		2007. év		2009. év	
		a_{hw}	a_{hv}	a_{hw}	a_{hv}	a_{hw}	a_{hv}
fűkasza 1	x	2.110	3.181	2.676	4.322	2.581	4.534
	y	1.870		2.688		2.964	
	z	1.473		2.072		2.261	
fűkasza 2	x	1.786	2.518	2.339	3.795	2.296	4.012
	y	1.482		1.930		2.477	
	z	0.978		2.282		2.166	
fűkasza 3	x	1.518	2.409	2.263	3.569	2.547	3.865
	y	1.139		2.120		2.164	
	z	1.483		1.767		1.941	
fűkasza 4	x	1.402	2.166	1.414	2.281	2.476	3.916
	y	1.307		1.408		1.993	
	z	1.009		1.105		2.288	
fűkasza 5	x	1.222	2.072	1.485	2.339	2.264	3.376
	y	1.357		1.432		1.585	
	z	0.979		1.103		1.939	
fűkasza 6	x	1.573	2.494	1.781	3.245	2.271	3.855
	y	1.482		2.163		2.476	
	z	1.244		1.636		1.891	
fűkasza 7	x	1.880	2.982	2.248	3.413	2.102	3.562
	y	1.975		2.102		2.388	
	z	1.207		1.476		1.602	

A vizsgálati periódusban rögzített a_{hv} értékeket az üzemóra szám függvényében a 24. ábra mutatja. A Spearman korrelációs vizsgálat statisztikailag szignifikáns összefüggést mutatott az üzemóra szám és a rezgésgyorsulás értékek között ($r=0.922$, $p(\text{two tailed})=0.000$). Az adatokra különböző, nem lineáris regressziós függvényeket illesztettem (24. ábra) annak érdekében, hogy megvizsgáljam, mely függvénnyel lehet a legjobban jellemezni a két változó közti összefüggést. A 10. táblázat összegzi az egyes függvények paramétereit.



24. ábra Különböző függvények illesztése fűkaszák üzemóra számától függő súlyozott teljes rezgés gyorsulás adataira.

10. táblázat Különböző függvények illeszkedési modelljének paraméterei fűkaszák használati időtől függő súlyozott teljes rezgés gyorsulás adataira.

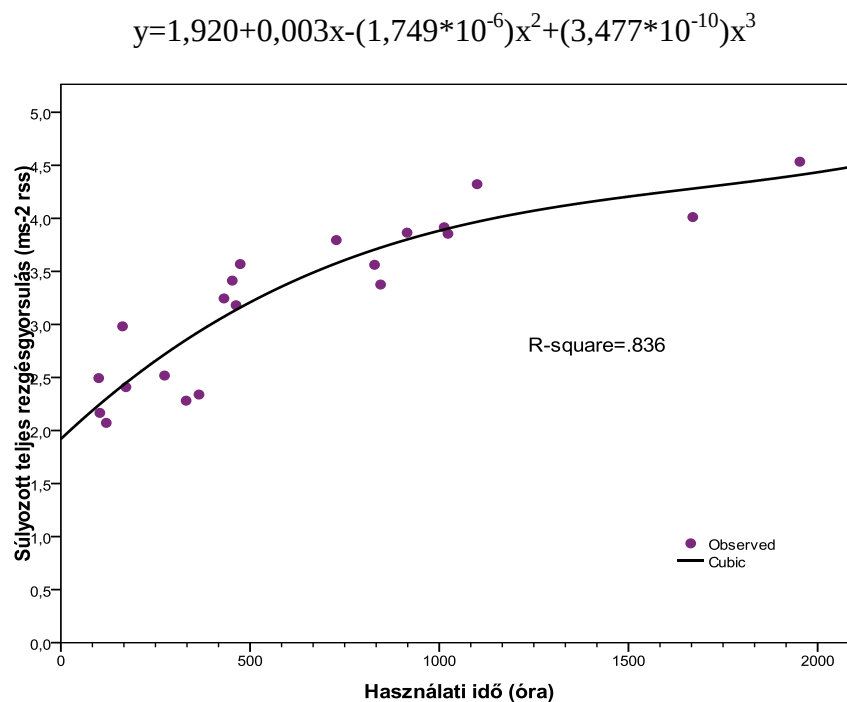
Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: Súlyozott rezgés gyorsulás

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2	b3
Linear	,747	56,012	1	19	,000	2,411	,001		
Logarithmic	,806	79,105	1	19	,000	-1,395	,755		
Cubic	,836	28,944	3	17	,000	1,920	,003	-1,749E-6	3,477E-10
Power	,791	72,095	1	19	,000	,713	,242		
Exponential	,689	42,018	1	19	,000	2,436	,000		

The independent variable is Üzemóra szám.

Az R^2 érték alapján a legmegfelelőbbnek a harmadfokú függvényt találtam (25. ábra), amelynek a képlete a modellben:



25. ábra Harmadfokú függvény illesztése a vizsgált fűkaszák üzemóra szám függvényében változó a_{hv} értékeire.

Az ábráról leolvasható, hogy az illesztett függvény képe alapján a vizsgált fűkaszákkal mért kézre ható rezgés mértéke jó közelítéssel, 250 üzemórát követően haladta meg a beavatkozási határértéket. Az ábra azt is mutatja, hogy az 1000 üzemóra alatt a rezgésterhelés sokkal nagyobb mértékben változott, mint azt követően; 1000 óra felett az illesztett függvény képe ellaposodik. Ez arra utalhat, hogy a vizsgált fűkaszák rezgésterhelése egy bizonyos használati idő fölött várhatóan már nem nő jelentős mértékben.

Az eszközcsoporthoz vizsgálatok során végzett terc- és oktávsváros elemzések azt mutatták, hogy a súlyozott a_{hv} értékek esetében a domináns frekvenciatartomány nem változott, csak az azon a 125-160 Hz középfrekvencián mért rezgés amplitúdója nőtt 14.3-29.8 %-kal. A W_h súlyozószűrő nélkül végzett keskenysávú analízis azt mutatta, hogy az üzemóra szám növekedésével a domináns frekvenciatartományon kívül, a magasabb frekvenciákon is emelkedtek a rezgés gyorsulás értékek (M.5. ábra, 5. melléklet). A súlyozószűrő használatával ez azonban kevésbé érvényesül a végeredményben.

5.1.5. A kismű üzem helyzetének hatása a kézre ható rezgésterhelésre

Hipotézisem szerint nem csak a mérés időtartamának hossza, illetve az egyes eszközök üzemóra száma befolyásolja a kézre ható rezgést, hanem a kézi eszköz üzem helyzetének, vagyis a kézben tartásának módja is. A doktori kutatás során két eszközt (Fűkasza8 és

Sövényvágó3) vizsgáltam különböző kézbentartási módok mellett (egyenes, normál tartás, illetve eszköz bal- és jobb oldalra döntött). A 11. táblázat összegzi a mérési eredményeket.

11. táblázat A kézben tartás módjának hatása sövényvágóval és fűkaszával mért a_{hv} értékekre (6 mérés átlagában).

Eszköz	Mérés helye	Irány	ALAPJÁRAT			VÁGÁS		
			a_{hw} ms ⁻² rms	CoV	a_{hv} ms ⁻² rss	a_{hw} ms ⁻² rms	CoV	a_{hv} ms ⁻² rss
sövényvágó	Első fogantyú	x	1.685	0.046	2.373	2.152	0.050	2.894
		y	1.555	0.042		1.768	0.046	
		z	0.613	0.088		0.789	0.083	
	Első fogantyú Balra dönt	x	1.779	0.040	2.408	2.191	0.086	3.128
		y	1.478	0.061		2.059	0.046	
		z	0.668	0.072		0.863	0.051	
	Első fogantyú Jobbra dönt	x	1.279	0.052	2.045	1.680	0.020	2.516
		y	1.467	0.046		1.693	0.010	
		z	0.627	0.060		0.802	0.028	
	Hátsó fogantyú	x	2.092	0.011	3.068	2.326	0.049	3.179
		y	1.400	0.130		1.433	0.061	
		z	1.754	0.068		1.625	0.031	
	Hátsó fogantyú Balra dönt	x	2.297	0.056	3.039	2.337	0.021	3.245
		y	1.287	0.062		1.486	0.035	
		z	1.517	0.042		1.690	0.023	
	Hátsó fogantyú Jobbra dönt	x	2.297	0.027	3.043	2.517	0.016	3.331
		y	1.305	0.028		1.444	0.040	
		z	1.511	0.018		1.637	0.021	
fűkasza	Első fogantyú	x	2.753	0.128	4.205	2.228	0.032	3.922
		y	2.958	0.082		3.115	0.045	
		z	1.161	0.129		0.847	0.061	
	Első fogantyú Balra dönt	x	2.920	0.061	4.093	2.458	0.035	3.911
		y	2.765	0.062		2.900	0.009	
		z	0.762	0.135		0.921	0.044	
	Első fogantyú Jobbra dönt	x	4.117	0.016	5.095	5.089	0.006	5.738
		y	2.731	0.052		2.227	0.023	
		z	1.244	0.351		1.440	0.042	
	Hátsó fogantyú	x	2.940	0.035	3.557	2.931	0.029	3.922
		y	0.622	0.025		0.691	0.022	
		z	1.904	0.017		2.513	0.066	
	Hátsó fogantyú Balra dönt	x	2.718	0.005	3.587	3.492	0.004	4.298
		y	0.759	0.038		0.787	0.018	
		z	2.215	0.062		2.379	0.040	
	Hátsó fogantyú Jobbra dönt	x	4.162	0.055	4.779	5.986	0.018	6.449
		y	0.606	0.045		0.675	0.052	
		z	2.270	0.010		2.301	0.006	

A táblázatból látható, hogy az alapjárat és vágás közben, a korábbiakhoz hasonlóan, eltérő rezgésterhelést mértem, amelyet az eltérő fordulatszám eredményezett (ISO5349:2001). Az 5.1.1. fejezetben bemutatottakkal összhangban, ebben a méréssorozatban is különbséget figyeltem meg az eszközök fogantyúin mért rezgésterhelés között. Friedman és Wilcoxon statisztikai tesztekkel vizsgáltam, hogy az egyes kondíciók között látható eltérések statisztikailag szignifikánsak-e (M.6.(a), (b) és (c) táblázatok, 6. melléklet). Az elemzés azt mutatja, hogy az első és hátsó fogantyún mind alap, mind pedig vágás üzemmódban döntő többségében szignifikáns ($p < 0.05$) eltérés volt a mért

rezgésértékek között az egyes irányokban. Ez megerősíti az előző fejezetekben hangsúlyozott, mindkét fogantyún elvégzett mérések fontosságát.

A súlyozott rezgésgyorsulás adatok (11. táblázat) Friedman teszttel való összehasonlításakor szignifikáns különbségeket találtam az egyes kézben tartási módokkal mért rezgésterhelés között x , y , és z irányokban mind alaphelyzetben, mind pedig vágás közben (M.6.(a) táblázat, 6. melléklet). A Wilcoxon teszt (M.6.(b) és (c) táblázat, 6. melléklet) megerősítette az egyes kézben tartási módok eredményezte rezgéseltéréseket a vizsgált kombinációkban; a sövényvágó esetében a kézre ható rezgés mértéke általában statisztikailag szignifikánsan nagyobb volt ($p < 0.05$) a sövényvágó 90° -kal balra döntésekor (sövény függőleges oldalát vágták). Ezzel szemben a 90° -kal jobbra döntött eszköz rezgésértékei szignifikánsan kisebbek voltak, mint az alaphelyzetben mértek (kivétel hátsó fogantyú vágás közben). A fűkasza esetében az első fogantyún főként x és z irányokban jelentkeztek statisztikailag szignifikáns eltérések az egyes pozíciókkal mért rezgésértékek között, mind alaphelyzetben, mind vágás közben. A hátsó fogantyún gyakorlatilag minden kombinációban statisztikai eltérést tapasztaltam a rezgésértékek között iránytól és fordulatszámtól függetlenül. A súlyozott rezgésértékeket tekintve a vizsgált fűkasza esetében tehát az eszköz balra döntése általában csak kismértékben, de növelte a fűkasza fogantyúján mért kézre ható rezgés nagyságát. Ezzel szemben az eszköz jobbra döntése jelentősen növelte mind az irányonként mért, mind a súlyozott teljes rezgésgyorsulás nagyságát. Vágás közben például a hátsó fogantyún 2.527 ms^{-2} eltérés adódott a normál tartás és a jobbra döntött tartás kézre ható rezgésterhelésében (11. táblázat). Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy a motor vízszintes pozíciójának elmozdulásakor megnő a kiegyensúlyozatlanság veszélye, ami ilyen jelentős rezgésterhelés-emelkedéshez vezethet.

5.1.6. Összefoglalás és értékelés

Annak ellenére, hogy a kertészetben alkalmazott kisgépekre vonatkozólag is érvényes kézre ható rezgésmérés metodikája szabványosított, számos kérdés merül fel a módszerrel és a kockázat értékelésével kapcsolatban.

A doktori kutatásom során a három csoportba sorolt 18 vizsgált kisgép kézre ható rezgése széles skálán változott. Nem csak az egyes csoportok között voltak nagy eltérések, hanem a gépcsoportokon belül is megoszlott az eszközök rezgés kibocsátása.

A fűkasza az egyik legelterjedtebb kertészeti kisgép, amit mind az erdészetben, mind a kertészetben és főként parkfenntartásban és autópálya-karbantartás során alkalmaznak. A vizsgált fűkaszák rezgésterhelése általában meghaladta a napi beavatkozási határértéket, így az eszköz csak korlátozásokkal lenne alkalmazható. A vizsgált fűnyírók rezgésterhelése

általában magasabb volt, mint a fűkaszáké; az a_{hv} értékek meghaladták az 5 ms^{-2} értéket. Mivel azonban a fűnyírókat többnyire nem 8 órás munkaidőben kezelik, ezért a kézre ható rezgés értékelésekor elsősorban a napi teljes rezgésterhelés számításakor lehet jelentős befolyása az A(8) rezgésgyorsulás értékre. A legalacsonyabb kézre ható rezgésterheléssel a vizsgált eszközök között a sövényvágók rendelkeztek. Mivel ezeket a gépekkel szintén nem történik napi 8 órás, rendszeres munkavégzés, ezért a kizárólagos használatukból eredő vibrációs ártalmakkal gyakorlatilag nem kell számolni. Természetesen a gépkezelőt ért napi terhelés számításánál figyelembe kell venni.

A vizsgálatok során a mérések mindkét fogantyún és alapláncra, illetve vágás közben történtek. Minden vizsgált gép esetében különbségek adódtak a két fogantyún mért értékek között. A statisztikai szempontból is tesztelt sövényvágó és fűkasza eszközöknél a két fogantyún mért kézre ható rezgések eltérése szignifikáns volt. Az egyes eszközök műszaki leírásában nem minden esetben volt megadva az új gépekre vonatkozó két érték, ezért az adott eszközöknél nehéz megbecsülni a kézre ható rezgés kockázatát. A fordulatszámától függő rezgésterhelés (ISO 5349:2001) jelensége az általam vizsgált eszközöknél is megfigyelhető volt; általában a magasabb fordulatszámú vágás alatt mért rezgésértékek voltak magasabbak. Az ISO 5349:2001 szabvány szerint a kézre ható rezgés súlyozott rezgésgyorsulását az alap- és üzemi fordulatszámon mért rezgésértékek átlagából kell számítani. Az így kapott érték azonban nem ad megbízható képet a napi rezgésterhelésről olyan gépek esetében, amelyek főként a magasabb rezgésbocsátású, üzemi fordulatszámon működnek, például a fűkaszák. Ennek kiküszöbölésére célszerűbb lenne a két fordulatszámon mért rezgésbocsátás-értékeket külön-külön feltüntetni a műszaki leírásban.

Az ISO 5349:2001 szabvány előírja, hogy elsősorban triaxiális mérésekkel kell a kézre ható rezgést értékelni, ugyanakkor lehetőséget ad a súlyozótényezővel korrigált egyirányú, domináns rezgésérték alapján való számításra is. A mérési eredményeim alapján megállapítható, hogy a vizsgált eszközök esetében általában két domináns irány is volt, egymáshoz közel eső rezgésértékkel, ezért még a súlyozótényező használata mellett is kétséges, hogy az egyirányú számítási módszer megbízható eredményt ad.

Az oktáv- és tercsávós rezgéselemzésből kiderült, hogy a kertészeti kisgépek rezgése többnyire alacsony, 200 Hz alatti frekvencián domináns. Ez alól az elektromos sövényvágók képeztek kivételt, amelyeknek legnagyobb rezgésgyorsulás értékeit 1000 Hz felett tapasztaltam. Mivel a kertészetben alkalmazott gépek keltette rezgés éppen a kéz-kar rendszerre legnagyobb hatást gyakorló frekvenciákon domináns, ezért ezen eszközök

használatakor fokozott figyelemmel kell lenni mind a használati idő meghatározásakor, de főként a megfelelő rezgéscsökkentő módszer megválasztásánál (lásd az 5.2.1. fejezetben az anti-vibrációs kesztyűk hatékonysága kertészeti kisgépekkel).

A súlyozott teljes rezgésgyorsulás meghatározásakor a mérési idő hossza befolyásolja az eredményeket. A túl rövid (10 s) mérési idővel meghatározott géprezgés nem reprezentatív. Az 1 percnél hosszabb mérési idő alatt a kézi adapter megfelelő pozícióban tartása romlik a kezek fáradása miatt, ami ugyancsak megkérdőjelezi a végeredmény pontosságát. Az általam vizsgált eszközcsoportok esetében, lévén azok adott fordulatszámon jelentkező rezgéskeltése viszonylag állandó és normál üzemi körülmények között a lökés típusú rezgés előfordulása minimális, az ismételhetőség szempontjából a 20 s és 30 s mérési idő bizonyult megfelelő választásnak.

A már használatban lévő gépekkel mért rezgésterhelés és gyártók által új eszközökre megadott rezgés kibocsátások eltértek egymástól, aminek több oka lehet: (i) a két mérési módszerre más más szabványok vonatkoznak, némileg eltérő követelményekkel, (ii) az emberi tényező az egyik legmeghatározóbb faktora a mérési bizonytalanságnak; nem csak a gépkezelő fizikai jellemzői lehetnek eltérőek, de például a gépkezelésben való jártasság is (ISO 22867:2004), illetve a géprezgés vizsgálata során szimulált és valós munkakörülmények eltérése (CEN/TR 15350:2006). További ok lehet még az új gépek rezgés kibocsátásának meghatározásakor az azonos kategóriájú gépekkel való összehasonlításból eredő bizonytalanság. Habár a gépekről szóló 2006/42/EK irányelv és az CEN/TR 15350:2006 útmutató lehetőséget ad az összehasonlítással megbecsült adat feltüntetésére, még azonos kategóriájú gépek esetén is tág határok között változhat a rezgés kibocsátás, ezért ez a módszer nem tekinthető megfelelőnek.

A géprezgések vizsgálatok az ISO 22067:2008 és ISO 20643:2008 szabványok alapján a méréseket új eszközökön kell elvégezni. A kézre ható rezgésterhelés vizsgálatát azonban olyan használatban lévő gépeken végeztem el, amelyek üzemóra száma 123 órától 2250 óráig terjedt (M.2.(a) táblázat, 2. melléklet). Az üzemóra szám növekedésével, még megfelelő karbantartás mellett is, nőhet a gép elhasználódása, ami előidézheti a rezgésértékek növekedését (Szepesi *et al.* 1986). Fűkaszákkal végzett, 3 éven át tartó mérések azt mutatták, hogy az üzemóra szám növekedésével nőtt az eszközök rezgésterhelése. A vizsgált fűkaszák esetében harmadfokú függvénnyel közelíthető a tényezők közötti kapcsolat. A vizsgálat elején mért kiinduló rezgésterhelés-értékhez képest mért legnagyobb változás 1000 üzemóráig következett be. E fölött a rezgésterhelés sokkal kisebb mértékben változott. A kertészetben használatos eszközöket két évente felül kellene

vizsgálatni, amely vizsgálat lehetővé tenné a fokozott használatból eredő rezgésnövekedés kiszűrését. A kézre ható rezgésterhelés változása több okra vezethető vissza: (i) a leggyakoribb az eszköz nem megfelelő üzemeltetése (ii) az elhasználódott anti-vibrációs elemek cseréjének elmaradása ugyancsak növelheti a rezgést, (iii) a karbantartás hiánya (például a megfelelő kenés biztosítása) a gép alkatrészeinek elhasználódásához vezet, ami növeli az egyes elemek közötti súrlódást, kopást idéz elő, illetve növeli a motor kiegyensúlyozatlanságának kockázatát, amely magasabb rezgés kibocsátáshoz és így magasabb rezgésterheléshez vezethet.

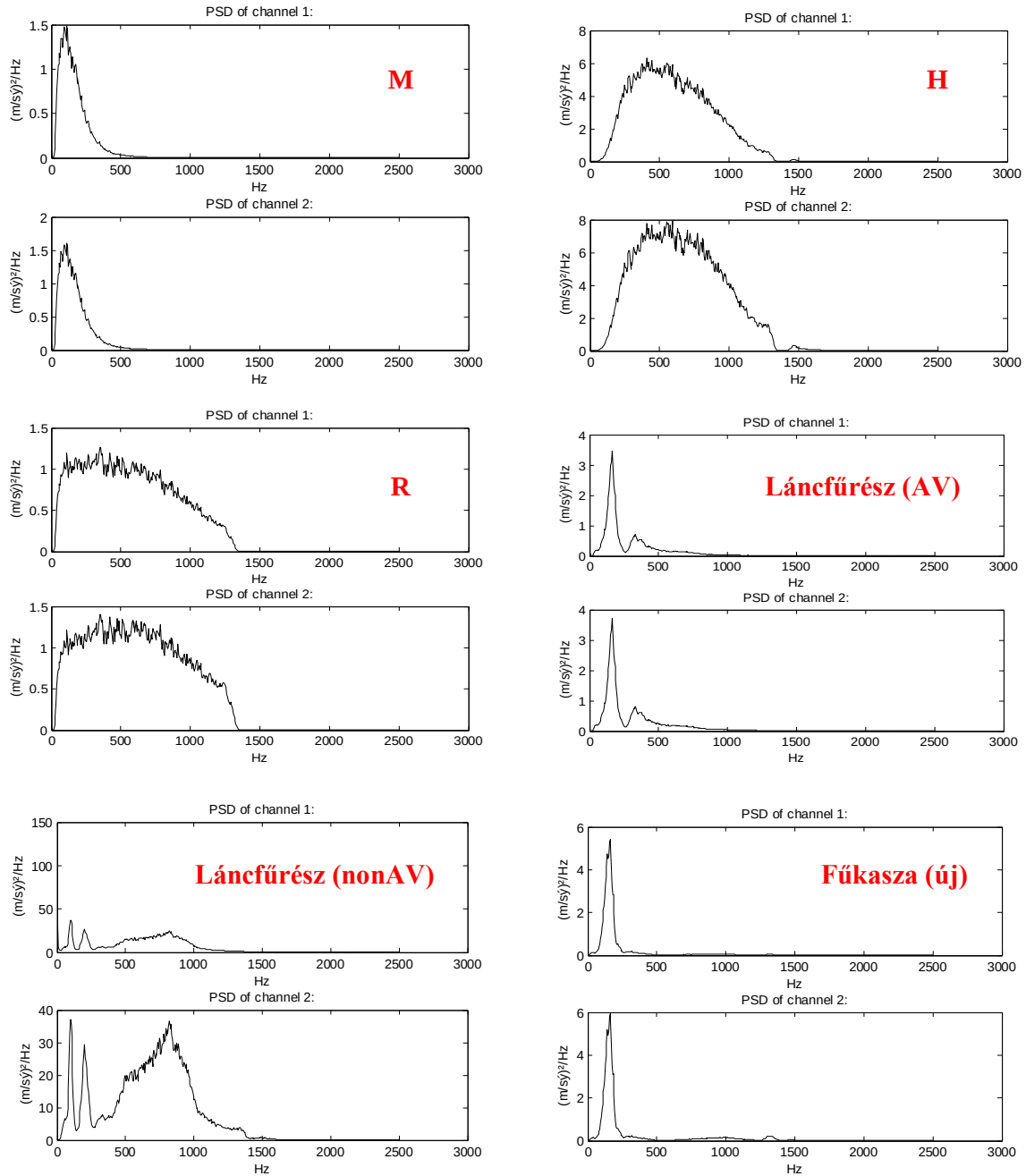
Mind a rezgés kibocsátás mérésére vonatkozó előírások (például az ISO 22867:2008 vagy a kézi gépekre vonatkozó ISO 20643:2008) mind a kézre ható rezgésterhelésre vonatkozó ISO 5349:2001 szabvány egy, tipikusnak ítélt kézben tartási pozícióval való rezgésmérést ír elő. Mivel a használatától függően az eszközök kézben tartása változik, ezért az egy pozícióban elvégzett mérések nem a valós üzemi körülményeket tükrözik. Az általam vizsgált két eszköztípus esetében számottevő eltérést mutatkozott a kézre ható rezgésben az eszköz kézben tartási módjától függően, valós használat közben. Ha például a sövényvágó rezgésterhelésének vizsgálata során csak a sövény vízszintes irányú vágását mérjük, akkor az eredmény alulértékeli a rezgésterhelést, akkor, amikor az eszközt jobb oldalára döntve, a sövény függőleges felületét vágjuk. Fűkaszák esetében a vízszintes tartástól eltérő pozíciókban, például autópálya mentén a töltés kaszálása (a vágófej kb. 45°-ban döntött a talajhoz képest) a kézre ható rezgés mértéke közel a duplája is lehet. Ez olyan jelentős eltérés és kockázati tényező, ami mindenképpen szükségessé tenné a szabványokban a mérés közbeni üzemi pozíció meghatározását vagy kiterjesztését.

Külön ki kell emelni az egyes gépet üzemeltetőkkel mért rezgésértékeinek nagyfokú szórását a teljes vizsgálat során. Mivel minden gépkezelő gyakorlott volt, ezért az eltérések nem a szakszerűtlen üzemeltetésből eredhettek. Az általam használt szabványos kézi adapter ugyanakkor forrása lehet az értékek szórásának; annak ellenére, hogy ez a módszer közvetlen és a forráshoz legközelebb eső mérést tesz lehetővé, az adapter elmozdulásának nagy az eshetősége. A kéz által kifejtett szorító erő és az adapter alakja ugyancsak befolyásolhatja annak illeszkedését a fogantyúra. Az emberek közötti eltérések kiküszöbölésére célszerűbb volna több gépkezelő átlagában számítani az egyes gépek kézre ható rezgésének mértékét.

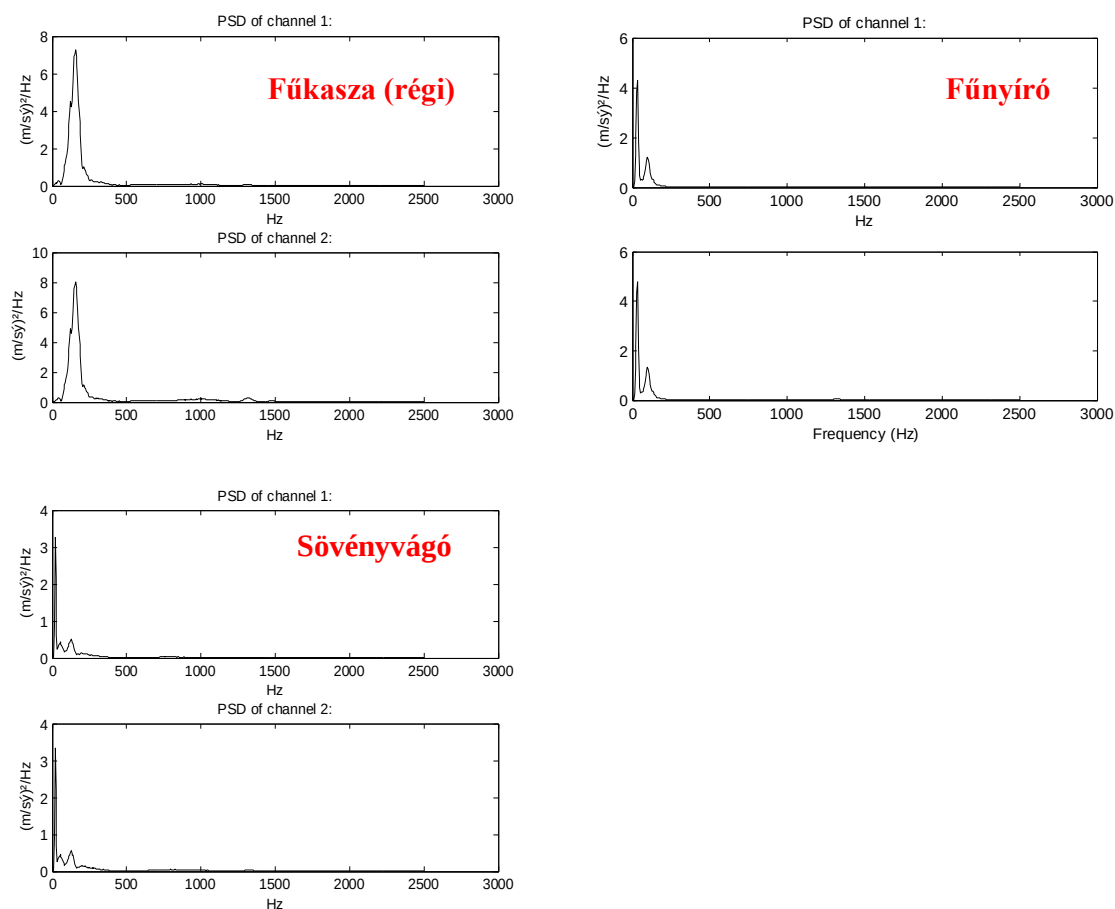
5.2. Anti-vibrációs kesztyűk frekvenciaátviteli függvényének mérése

5.2.1. Az anti-vibrációs kesztyű hatékonysága kertészeti kisgépekkel

A kesztyűk kertészeti gépekkel való teszteléséhez szükséges volt, a magyarországi mérési eredményeim alapján, a kisgépek vibrációs spektrumának rezgéskeltővel való reprodukálása. Ehhez a 2. mellékletben megadott programokat kellett megírnom (M.2.(c) és (e) ábra). A szintetizálást követően a shakerrel a 26. ábrán bemutatott rezgésspektrumokat állítottam elő (a rezgések idő szerinti grafikonjait az M.7.(a) ábra, 7. melléklet mutatja).



folytatás



26. ábra A generált, szintetizált rezgések spektrális sűrűség (PSD) függvénye a rezgésgerjesztő bemenő (channel 1) jelére és a kimenő jelére (channel 2).

A kesztyűtesztet mind kesztyű nélkül, mind a négy anti-vibrációs kesztyűvel elvégeztem az összes spektrummal és két, eltérő (12 fős) tesztalany csoporttal. Mivel a két láncfűrészsel végzett tesztekben eltérő tesztalanyok vettek részt (M.2.(c) táblázat, 2. melléklet), mint a többi géprezgéssel végzett teszt sorozatban, ezért a két eredményt megosztott táblázatban és külön grafikonon ábrázolva értékelem. Az anti-vibrációs kesztyűk rezgésátviteli értékeit a (8) képlettel, a frekvenciaátviteli függvényeket a (10) (11) és (12) képletek alapján *HVLab* programmal kalkuláltam.

A 12. táblázat összefoglalja a *TR* értékeket az összes rezgésspektrummal mérve. Látható, hogy a kesztyű nélkül végzett tesztek közel azonos eredményt adnak; a *TR* érték 1 körül mozgott. Ezt azt jelenti, hogy a fogantyú rezgése teljes mértékben átadódik a kézre. Annak ellenére, hogy mind a négy kesztyű anti-vibrációs minősítéssel rendelkezett, az általam végzett kesztyűtesztben csak Kesztyű1 felelt meg az anti-vibrációs kritériumoknak. Mindkét tesztcsoporttal végzett méréskor ezen kesztyű *TR* értékei az 1 és 0.6 határértékek

alatt maradtak a szabványos spektrumokkal (0.872 és 0.786 az M spektrummal és 0.483 és 0.559 a H spektrummal). A többi kesztyűnél azonban a H spektrummal mért rezgésátvitel értékek rendre meghaladták a 0.6 kritériumot. Hasonló megfigyelést tettek Koton és munkatársai (1998) és Dong és kollégái (2002b) minősített anti-vibrációs kesztyűkkel végzett mérések során.

12. táblázat 4 kesztyű rezgésátvitel értékei (12 tesztszemély átlagában), minimum és maximum, illetve variációs együtthatói (CoV) 9 rezgésspektrummal mérve.

Spektrum	Kesztyű nélkül			Kesztyű 1			Kesztyű 2			Kesztyű 3			Kesztyű 4		
	TR	MIN MAX	CV	TR	MIN MAX	CV	TR	MIN MAX	CV	TR	MIN MAX	CV	TR	MIN MAX	CV
M	1.064	0.990 1.094	0.026	0.872	0.705 1.042	0.132	0.984	0.825 1.077	0.078	0.928	0.802 1.075	0.090	0.937	0.787 1.070	0.095
H	1.104	1.037 1.148	0.027	0.483	0.417 0.595	0.108	0.766	0.679 0.890	0.104	0.623	0.485 0.790	0.143	0.614	0.466 0.839	0.164
R	1.066	1.001 1.102	0.031	0.813	0.654 0.948	0.123	0.956	0.829 1.054	0.077	0.892	0.764 1.044	0.102	0.883	0.708 1.017	0.107
láncfűrész (AV)	1.070	0.999 1.097	0.025	0.721	0.513 0.877	0.133	0.959	0.795 1.045	0.075	0.838	0.721 0.972	0.084	0.870	0.779 0.973	0.067
láncfűrész (nonAV)	1.071	0.982 1.104	0.037	0.714	0.559 0.938	0.178	0.924	0.779 1.015	0.089	0.821	0.653 0.925	0.105	0.838	0.653 0.999	0.117
M	1.004	0.990 1.014	0.007	0.786	0.608 0.862	0.087	0.917	0.808 0.970	0.064	0.867	0.710 0.979	0.083	0.886	0.714 0.955	0.065
H	1.043	1.021 1.069	0.007	0.559	0.419 0.660	0.138	0.844	0.740 0.961	0.069	0.744	0.629 0.889	0.096	0.791	0.581 0.929	0.073
R	1.007	0.996 1.017	0.007	0.744	0.581 0.841	0.103	0.903	0.807 0.970	0.065	0.861	0.768 0.956	0.083	0.884	0.720 0.964	0.065
fűkasza (új)	0.999	0.981 1.005	0.007	0.835	0.690 0.917	0.092	0.940	0.876 1.019	0.062	0.913	0.743 0.999	0.078	0.936	0.842 0.997	0.062
fűkasza (rég)	0.997	0.988 1.019	0.007	0.798	0.647 0.915	0.096	0.930	0.862 1.018	0.063	0.902	0.744 1.002	0.079	0.937	0.836 0.985	0.062
fűnyíró	1.000	0.985 1.019	0.007	0.936	0.762 1.091	0.082	0.924	0.831 1.016	0.063	0.899	0.787 1.035	0.080	0.924	0.804 1.028	0.063
sövényvágó	0.974	0.964 0.987	0.008	0.937	0.820 1.080	0.082	0.946	0.769 1.012	0.062	0.947	0.841 1.042	0.076	0.959	0.881 1.037	0.060

A mérési eredmények eltérést mutatnak a két tesztcsoporttal végzett teszt sorozatban az M, H és R spektrumokkal az összes kesztyű esetében. Kesztyű2 esetében például az első tesztcsoport átlaga 0.984 és 0.766 volt a szabványos spektrumokkal, míg a második tesztcsoportnál ez 0.917 és 0.844 értékekre adódott. Ez a különbség következhetett a teszt körülmények változásából (a két tesztcsoporttal végzett mérés között 4 hónap telt el) vagy a személyes eltérésekből. A kesztyűk közül a legjobb rezgéscsillapítással Kesztyű1 rendelkezett, míg általában Kesztyű2 volt a legkevésbé hatékony mindkét tesztcsoporttal.

Egyértelmű, hogy a szabványos M spektrum rendre alulértékelt a kesztyűk teljesítményét; a láncfűrészekkel mért *TR* értékek alacsonyabbak voltak, mint az M spektrummal mérték. Ez azt mutatja, hogy a kesztyűk nagyobb mértékben csökkentették a kézre ható vibrációt a láncfűrészekkel, mint az a szabványos spektrummal történt mérést követően várható lett volna. Ezzel szemben azonban a többi kézigép esetében az M spektrummal mért értékek alacsonyabbak voltak mind a négy kesztyűnél, tehát ezeknél az eszközöknél a szabványos teszt jobbnak mutatta a kesztyűt, mint amilyen az a valós gépekkel lett volna.

A szabványos H spektrum rendre felülértékelt a kesztyűk rezgéscsillapítását; a rezgésátvitel értékek minden esetben alacsonyabbak voltak, mint a valós géppel megfigyeltek. A legnagyobb különbség, az előzőhöz hasonlóan, Kesztyű1 esetében a H és sövényvágó spektrumok értékei között jelentkezett (0.559 és 0.937). Az eredmények jól demonstrálják, hogy a kesztyűk rezgésátviteli értékei, vagyis a rezgéscsillapítás a használt rezgésspektrumtól függően változik.

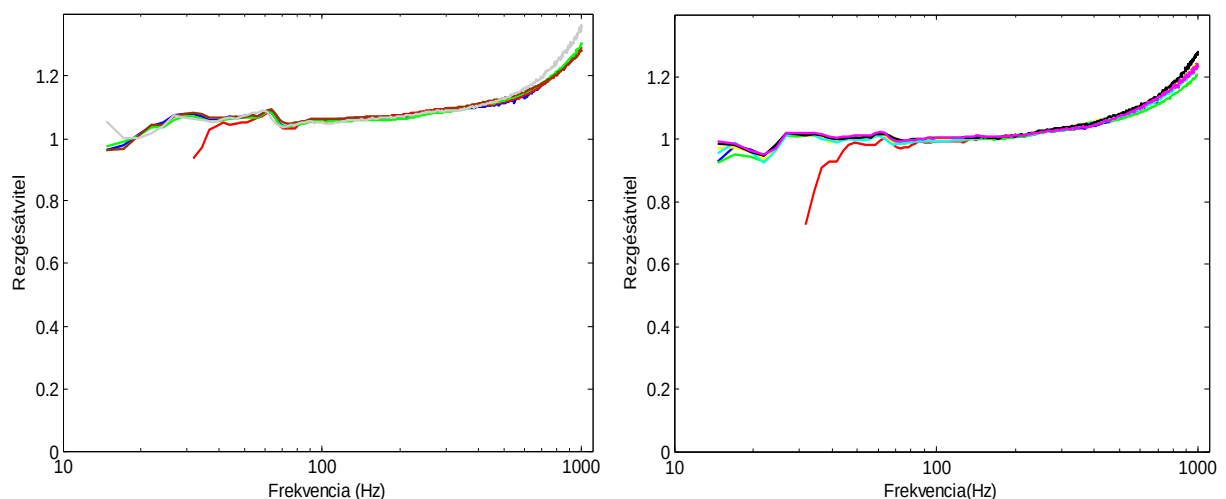
Az eltérő spektrumok használatából adódó legnagyobb *TR* érték eltérés éppen a legjobbnak ítélt Kesztyű1-nél figyelhető meg az M spektrummal mért (0.786) és a sövényvágó rezgésspektrumával mért (0.937) érték között. Ez arra utalhat, hogy ez a kesztyű a legérzékenyebb a vibráció spektrumára. Mivel mind a négy kesztyű anti-vibrációs volt, az eltérő eredmények feltehetőleg a kesztyű anyagának különbözőségéből adódtak. Annak ellenére, hogy Kesztyű 1 csillapította a legjobban a rezgést, ez volt a legvastagabban párnázott (amiből adódhatott a jobb hatékonysága), és a tesztszemélyek megjegyezték, hogy a viselése kényelmetlen és nehézkes benne a fogantyú markolása.

Az R spektrummal végzett mérések eredményei közelebb estek a valós géprezgésekkel végzett tesztek rezgésátvitel értékeihez, mint az M és H spektrumokkal. Levonható tehát az a következtetés, hogy az R spektrummal végzett mérés jobb indikátora a kesztyűk rezgéscsillapításának, mint a szabványos spektrumokkal végrehajtott teszt.

Az egyéni rezgésátvitel-értékek között jelentős eltérés mutatkozott. Mind az M, mind pedig a H spektrumokat nézve volt olyan személy, akivel a határérték alatti vagy feletti rezgésátvitel értéket mértem. Ez arra enged következtetni, hogy a tesztszemély megválasztásával befolyásolni lehet a kesztyűteszt eredményét. Attól függően, hogy milyen alanyokkal végzik a minősítésre váró kesztyű vizsgálatát, egy kesztyű átmehet vagy megbukhat a vizsgálaton. A géprezgésekkel végzett mérések során, minden kesztyűnél, szinte minden rezgésspektrummal volt olyan személy, akinek a rezgésátvitel-értéke meghaladta az 1-et, vagyis akinél a kesztyű viselése növelte a kézre ható rezgés mértékét.

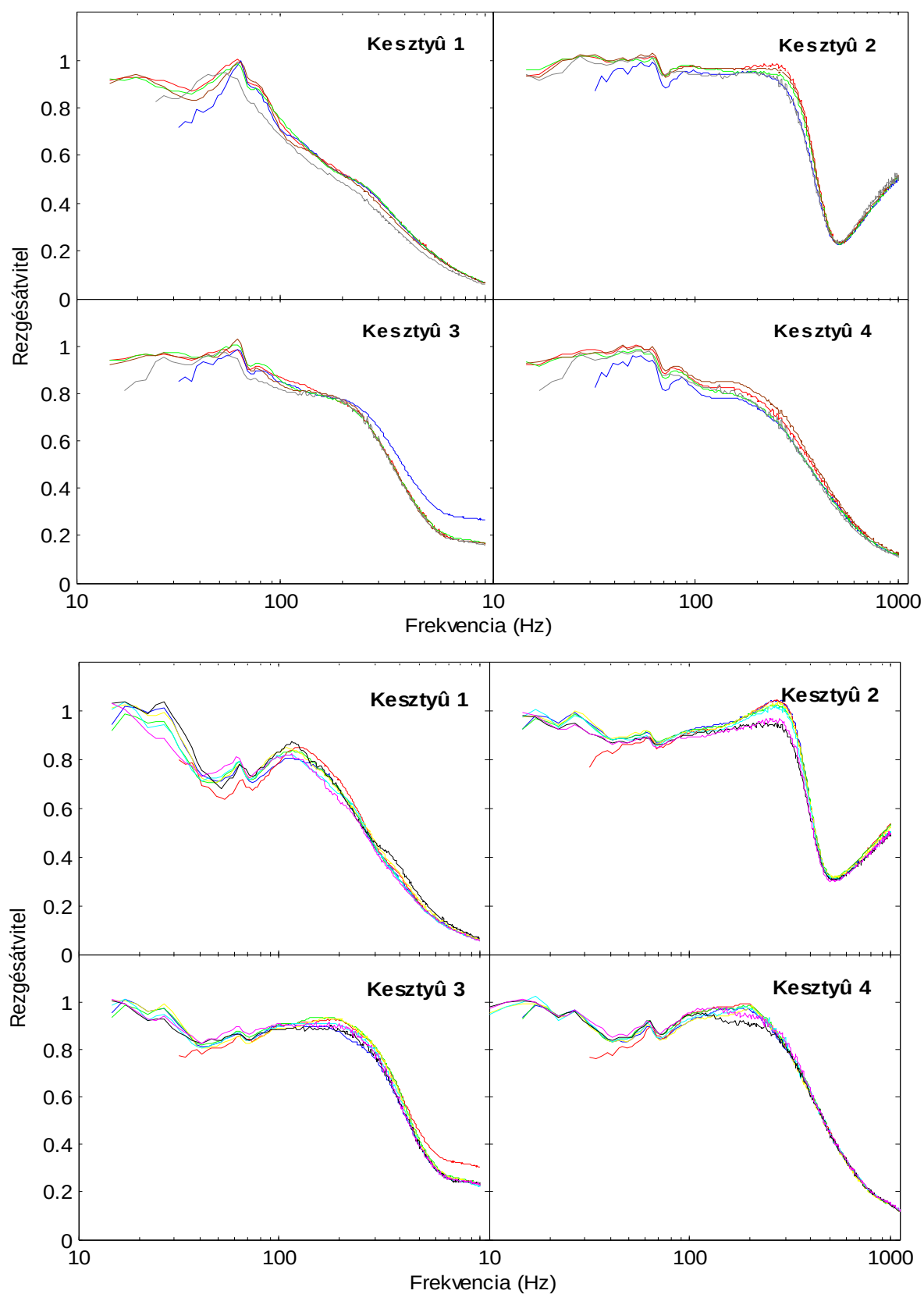
Mivel ez a jelenség minden mérőssorozatban előfordult, feltételezhető, hogy az egyének fizikai tulajdonságainak különbözősége (tenyér nagysága, kar hossza, súly, stb.) jelentős szerepet játszik egy kesztyű hatékonyságának megítélésakor.

A 27. ábra a frekvencia szerinti, kesztyű nélküli átlag rezgésátvitelt ábrázolja a 16 és 1000 Hz frekvenciatartományban, ahol a koherencia nagyobb volt 0.9-nél, a 28. ábra pedig a négy kesztyűvel mért átlageredményt demonstrálja. A kimenő és bemenő jel közötti koherenciákat az M.7.(b) ábra (7. melléklet) szemlélteti.



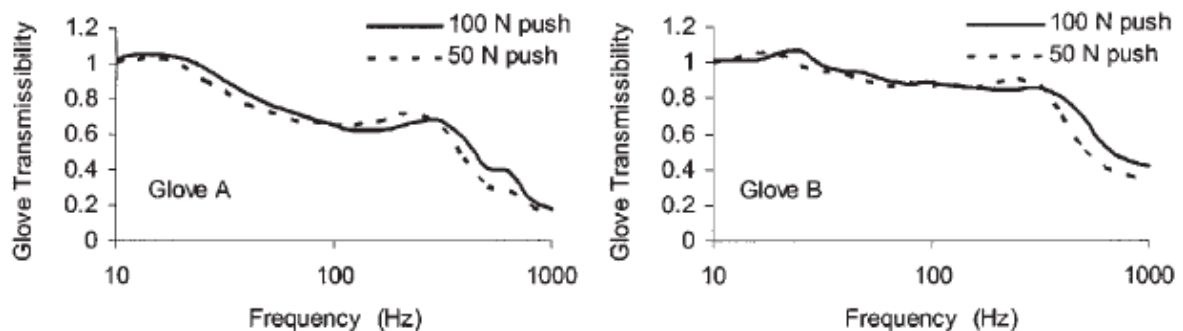
27. ábra A vibráció spektrumának hatása a kézre átadódó rezgés mértékére, kesztyű viselése nélkül, 12 tesztszemély átlagában, két tesztalany csoporttal (jobb és bal ábra) (— M, — H, — R, — láncfűrész (AV), — láncfűrész (nonAV), — fűkasza (új), — fűkasza (rég), — fűnyíró, — sövényvágó).

A 27. és 28. ábrák tükrözik a 12. táblázat eredményeit. A kesztyű nélkül végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy a gerjesztés és a kéz közötti rezgésátvitel egységhez közeli és magasabb frekvenciákon a mértéke kissé még növekszik is. Ebben közrejátszhat a fogantyú vagy egyéb mérőeszközök rezonanciafrekvenciájának közelsége is. A kesztyűkkel végzett rezgésátviteli vizsgálatok diagramjain látszik, hogy a négy kesztyű eltérő rezgéscsillapító karakterisztikával rendelkezik. Kesztyű 1 alacsony frekvencián átlépi az 1.0 értéket, vagyis növeli a kézre átadódó rezgés mértékét. 125 Hz felett azonban jelentős csillapítás jellemzi. Kesztyű 2 lényegében csak 250 Hz felett produkál számottevő mérséklést. Kesztyű 3 és 4 hasonlóak voltak karakterisztikájukban egymáshoz; alacsony frekvencián alig figyelhető meg rezgéscsillapítás, 100 és 400 Hz között azonban mérsékelte a kézre átadódó rezgés mértékét.



28. ábra A vibráció spektrumának hatása 4 anti-vibrációs kesztű rezgésátvitelére, 12 tesztszemély átlagában, két tesztalany csoporttal (felső és alsó ábra) (— M, — H, — R, — láncfűrész (AV), — láncfűrész (nonAV), — fűkasza (új), — fűkasza (rég), — fűnyíró, — sövényvágó).

Általában elmondható, hogy 315 Hz felett három kesztyű csökkentette a rezgést 40 %-kal (TR érték kisebb volt 0.6-nál) és 500 Hz felett valamennyi kesztyű minimalizálta a kézre ható rezgést az eredeti rezgésamplitúdóhoz képest 70 %-kal. A kesztyűk csak magasabb frekvenciatartományban való hatékonyságát más tanulmányok is alátámasztották (Dong *et al.* 2002a, 2004, 2005b, Griffin 1998, Pinto *et al.* 2001, Rakheja *et al.* 2002). A 29. ábra két kesztyű rezgésátvitelét mutatja a frekvencia függvényében két nyomóerő mellett Dong *et al.* (2005b) nyomán.



29. ábra Két kesztyű rezgésátviteli diagramja Dong *et al.* (2005b) vizsgálatában, 50 és 100 N nyomóerők mellett.

Érdekes megfigyelni, hogy a frekvencia szerinti ábrázoláson a két tesztcsoporttal végzett mérések között Kesztyű1-nél eltérés mutatkozott; az első esetben csak egy rezonanciacsúcs figyelhető meg 63,5 Hz-nél, míg a második tesztcsoporttal két rezonanciacsúcs adódott 20-30 Hz és 100-200 Hz között. A többi kesztyűnél csekélyebb eltérés mutatkozik a grafikonok lefutását illetően. Mivel ugyanazon kesztyűket vizsgáltam, hasonló fizikai jellemzőkkel rendelkező tesztcsoportokkal (M.2.(d) táblázat, 2. melléklet), a különbségek a tesztkörülmények (műszerek, kalibráció, beállítások) kismértékű eltéréséből adódhattak.

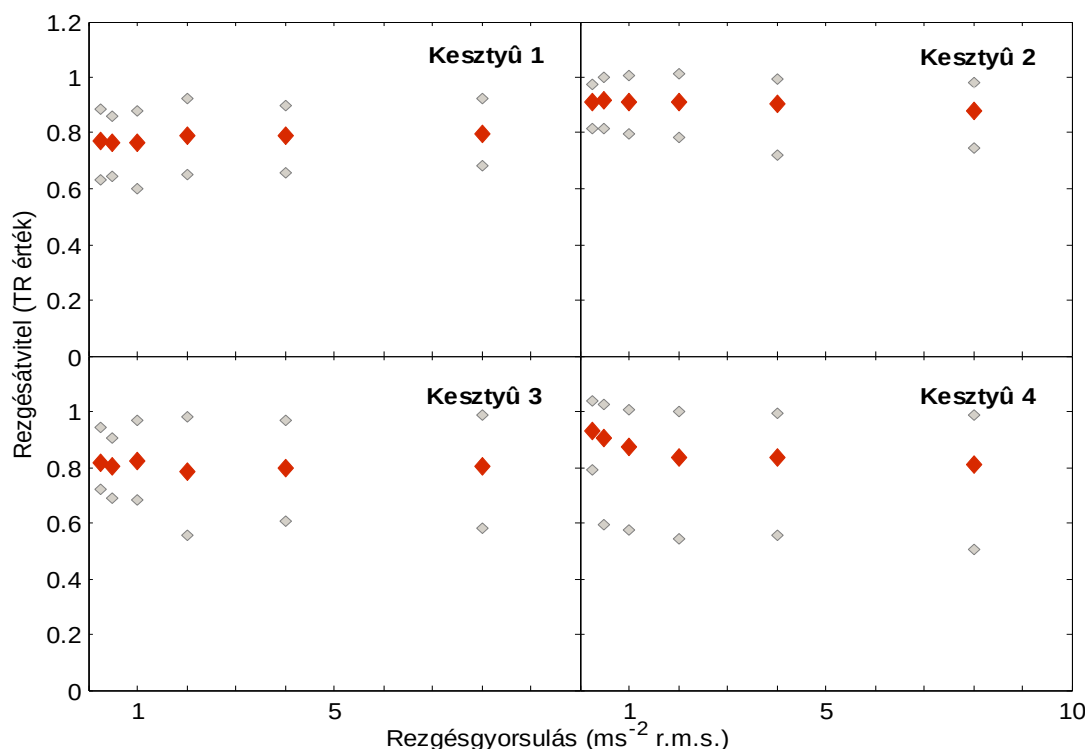
Az egyéni rezgésátvitel grafikonok alapján meghatározott *TR* értékek oktávsávonkénti összehasonlításával, Friedman és Wilcoxon statisztikai tesztekkel ellenőriztem, hogy a *TR* értékek alapján megfigyelt hatékonyságbeli különbségek az egyes rezgésspektrumoknak megfelelően szignifikánsak-e. A Friedman tesztekéből az derült ki (M.7.(a) és (b) táblázat, 7. melléklet), hogy minden kesztyűnél mindkét tesztcsoporttal voltak olyan frekvenciák, ahol az egyes spektrumokkal mért rezgésátvitel szignifikánsan eltért ($p < 0.05$). Az eltérések, amelyek főként alacsony frekvencián jelentkeztek, azonban adódhattak abból, hogy a H súlyozott spektrum energiatartalma a magasabb frekvenciatartományban koncentrálódik (100-1000 Hz, lásd 8. ábra), ezért alacsony frekvencián a rezgésátvitel értékek jelentősen

kisebbség, mint a többi spektrummal mértek. Az M spektrumnál éppen fordított a helyzet, mivel ebben az esetben a súlyozott spektrum energiatartalma a 25 és 200 Hz tartományba esik. Az M spektrummal mért rezgésátvitel értékek ezért a magas frekvenciatartományban mutatnak jelentős eltérést. (A szabványos spektrumok energiatartalmával magyarázhatóak a koherenciafüggvények képe is az M.7.(b) ábrán, 7. melléklet. Kesztyű^{3,4} esetében magas frekvencián a bemenő és kimenő jel közötti koherencia jelentősen romlott.) Éppen ezért a Friedman tesztet arra használtam, hogy hozzávetőleges információt kapjak arra vonatkozólag, hogy melyek azok az oktávsávok, ahol eltérések mutatkoztak, és ahol részletesebb statisztikai tesztet kellett végezni. Az egyes spektrumokkal mért rezgésátvitel közötti tényleges eltéréseket az értékek páronkénti összehasonlításával, Wilcoxon teszt elvégzésével lehet kimutatni. Az összehasonlítást csak azokban az oktávsávokban végeztem el, ahol a Friedman teszt szerint különbség adódott, illetve ahol a szabványos súlyozott spektrumoknak volt energiatartalmuk. Wilcoxon teszt eredményeként csak néhány oktávsáv középfrekvencián állapítható meg szignifikáns eltérés az egyes gépspektrumokkal és szabványos spektrumokkal mért rezgésátvitel között (M.7.(c) és (d) táblázat, 7. melléklet).

5.2.2. A rezgés amplitúdója és a kesztyű rezgéscsillapítása közötti összefüggés

Az előző, 5.2.1. fejezetben ismertetett mérési összeállításoknak nem csak a rezgésjellegzetessége volt a szabványos M és H spektrumoktól eltérő, de a rezgésgyorsulás abszolút értékei is. A kertészeti kisgépek súlyozott rezgésgyorsulása általában nagyobb, mint 3 ms^{-2} . Mivel a statisztikai tesztek nem utaltak arra, hogy kizárólag a géprezgések spektruma eredményezné a kesztyű rezgésátvitelének változását, ezért feltételezhető, hogy ebben a rezgések eltérő nagysága is közrejátszik. A kesztyűteszt ebben a szakaszában a kesztyűket különböző rezgésintenzitásokkal vizsgáltam. Elméletben a rezgés erőssége, a kesztyű anyagának dinamikus tulajdonságainak megváltoztatásán keresztül, befolyásolja a kesztyű rezgésre adott válaszreakcióját (transzfer funkció).

A négy kesztyű rezgésátvitel átlagértékeit a 12 tesztalany vonatkozásában, illetve az egyéni minimum és maximum értékeket minden kombinációban a 30. ábra mutatja. A 8. melléklet M.8.(a) táblázata foglalja össze a rezgésátvitel értékeket (minimum, maximum, 12 személy átlaga) az egyes kondíciókra, a variációs együttható feltüntetése mellett.



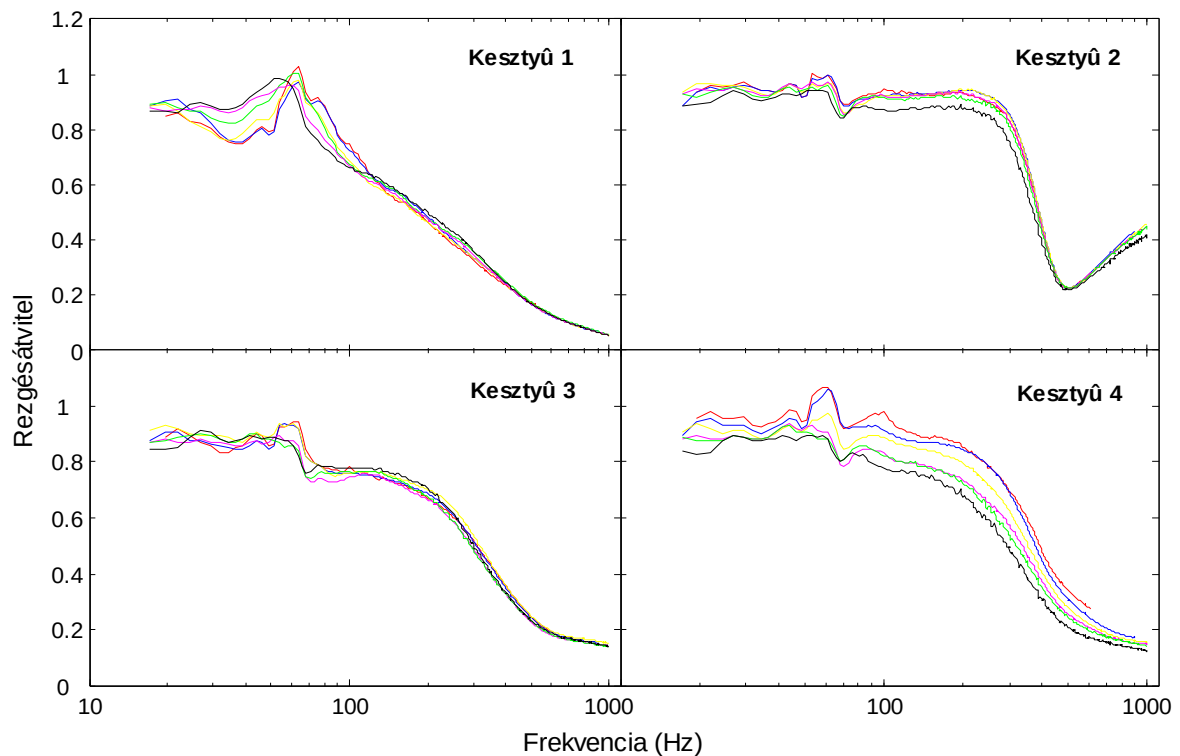
30. ábra Anti-vibrációs kesztyűk TR értékei (piros jel, 12 tesztszemély átlaga) a minimum és maximum értékekkel (szürke jel) a rezgésgyorsulás függvényében.

Habár mind a négy vizsgált kesztyű csillapította a kézre átadódó rezgés mértékét (a TR érték kisebb volt 1-nél), a kesztyűk között jelentős különbség volt megfigyelhető. Csakúgy, mint az előző szakaszban, itt is Kesztyű1 mutatta a legalacsonyabb rezgésátvitel értéket (0.763) a 12 személy átlagában, vagyis ez csillapította a legjobban a fogantyúról kézre átadódó rezgés mértékét. A legmagasabb rezgésátvitel értéke (0.927) Kesztyű4-nek volt. Az M.8.(a) táblázatából (8. melléklet) kiolvasható, hogy az egyéni minimum és maximum értékek tág határok között változtak; a teszt során mért legalacsonyabb érték 0.506 volt (Kesztyű4, 8 ms^{-2} r.m.s. mellett) a legmagasabb pedig meghaladta a rezgésátvitel határértékét (1.039, Kesztyű 4 esetében 0.25 ms^{-2} r.m.s. mellett).

A 30. ábráról látható, hogy a rezgés erősségének változtatása csak kis mértékben befolyásolta a kesztyűk rezgésátvitelét. A rezgés erősségének 0.25 ms^{-2} r.m.s.-ről való emelése 8 ms^{-2} r.m.s.-re Kesztyű1-nél rontotta, míg a többi kesztyű esetén javította a rezgéscsillapítást. A különbség azonban a TR értékeket tekintve meglehetősen alacsony.

A kesztyűk rezgésátvitelét a frekvencia függvényében a 31. ábra mutatja. A frekvencia szerinti koherenciát a kimenő és bemenő jel között a négy kesztyűre az M.8.(a) ábra mutatja (8.melléklet). Ez alapján megállapítható, hogy a mérések során a vizsgált frekvenciatartományban a zajszint minimális volt. A 31. ábrán látható, hogy a frekvencia

szerinti rezgésátvitel minden kesztyűnél eltérő. A TR értékek alapján legjobbnak ítélt Kesztyű1, 63,5 Hz-nél átlépi az 1.0 értéket, vagyis ebben a középfrekvenciájú oktávsvágban a kesztyű növelte a kézre ható rezgés mértékét. Magasabb frekvenciákon azonban ez mutatta a legnagyobb rezgéscsillapítást (a grafikon meredeksége ennél a kesztyűnél a legnagyobb).



31. ábra A rezgés erősségének hatása 4 anti-vibrációs kesztyű rezgésátvitelére a frekvencia függvényében, 50 N nyomóerő mellett (12 tesztalany átlaga: — 0.25 ms⁻² r.m.s.; — 0.5 ms⁻² r.m.s.; — 1 ms⁻² r.m.s.; — 2 ms⁻² r.m.s.; — 4 ms⁻² r.m.s.; — 8 ms⁻² r.m.s.).

A 31. ábra tükrözi az M.8.(a) táblázatának (8. melléklet) eredményét; az egyes kesztyűk eltérő érzékenységet mutatnak a rezgés erősségének változtatására. Kesztyű 4 esetében a legszembetűnőbb az egyes grafikonok közötti különbség. Ennél a kesztyűnél a legjelentősebb a rezgésátvitel rezgésereősségtől való függése is. Az is látható, hogy a rezgés erősségének növelésével a frekvencia szerinti rezgésátvitel rezonancia frekvenciája csökkent (leginkább nyilvánvaló Kesztyű1-nél) és a rezgésátvitel általában javul (legszembetűnőbb Kesztyű4-nél).

A 12 egyéni rezgésátvitel görbéről oktávsvágoként leolvasott TR értékeket használtam a statisztikai tesztek elvégzéséhez. A Friedman teszttel (M.8.(b) táblázat, 8. melléklet) megvizsgáltam, hogy van-e szignifikáns eltérés a 6 rezgésereősséggel mért rezgésátvitel

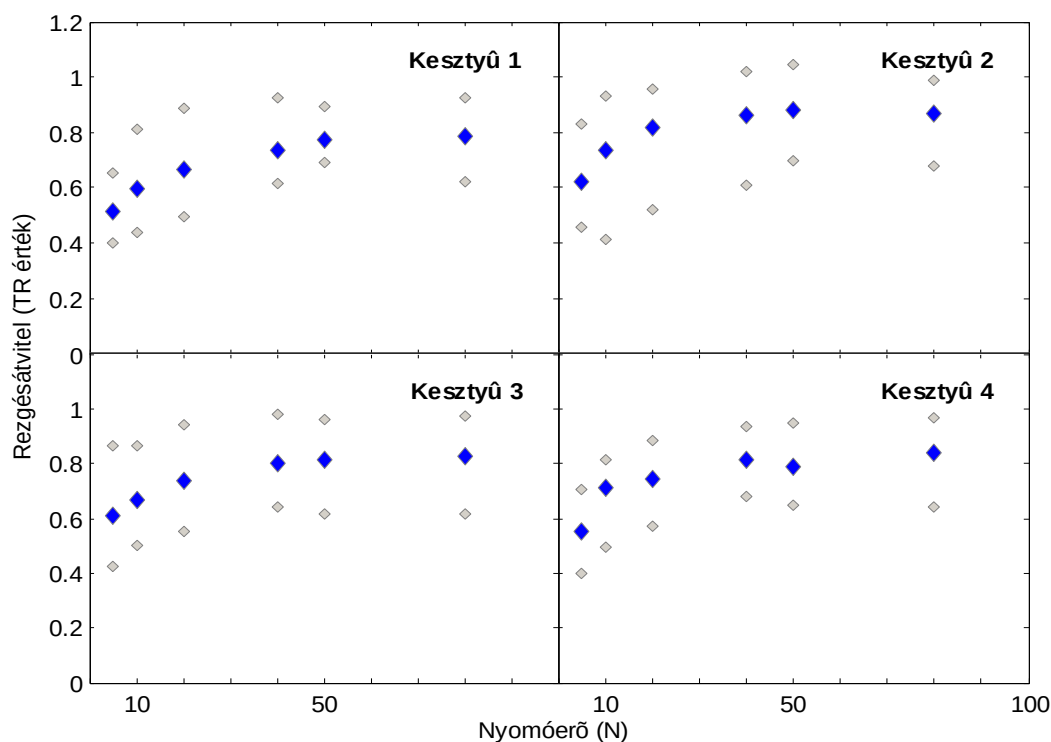
értékek között. A teszt azt mutatta, hogy a rezgés erősségének változása minden kesztyűnél legalább egy vizsgált középfrekvencián befolyásolta a rezgésátvitelt. Kesztyű1 és 3 esetében ez csak egy középfrekvencián volt statisztikailag szignifikáns ($p < 0.05$). Ezzel ellentétben, különböző rezgésátvitel értékeket mértem a másik két kesztyűvel szinte az egész vizsgált frekvencia tartományban.

A Spearman korrelációs vizsgálat statisztikailag szignifikáns összefüggést mutatott a rezgés erőssége és az átlagos *TR* érték között három kesztyűvel, de a korreláció iránya eltérő volt ($r = 0.829$, $p(\text{two tailed}) = 0.042$ Kesztyű1-nél; $r = -0.943$, $p(\text{two tailed}) = 0.005$ Kesztyű2-nél; $r = -1.00$, $p(\text{two tailed}) = 0.000$ Kesztyű3-nál). A *TR* érték tehát nőtt a rezgésgyorsulás növelésekor Kesztyű1-nél, csökkent Kesztyű2 és 4-nél, és nem volt korrelációs kapcsolat Kesztyű3 esetében. Ez arra utal, hogy a kesztyűk, feltételezhetően az anyaguk dinamikus tulajdonságainál fogva, eltérően reagálnak a rezgés erősségének megváltozására. Ez a változás azonban a többi befolyásoló tényező hatása mellett nem tekinthető számottevőnek. A mérések alátámasztották a korábbi tanulmányok feltételezését, amely szerint a kesztyű-kéz-kar rendszer a rezgés nagyságának változása szempontjából kvázi-lineáris rendszernek tekinthető (Griffin 1990, Hewitt 1998, Rakheja 2002).

5.2.3. A fogantyú nyomóereje és a kesztyű rezgéscsillapítása közötti összefüggés

Mivel az anti-vibrációs kesztyűk töltete általában olyan anyagokból készül, amelyeknek a viselkedése nem lineáris jelleget mutat, ezért feltételezhető, hogy a kesztyű rezgéscsillapítását a fogantyú nyomóereje befolyásolja. Az ISO 10819:1996 szabvány előírja, hogy a teszt során mind a nyomó, mind pedig a szorító erőt egy meghatározott (50N és 30N) értéken kell tartani, így a kesztyűanyag deformitása egy lineáris tartományban marad. A gyakorlati életben azonban, ahol a rezgés forrása kevésbé ellenőrizhető, ezek az értékek nem tarthatóak, ezen felül pedig nem feltétlenül tükrözik a valós munkakörülményeket.

A vizsgálat harmadik szakaszában, a tesztben résztvevők 6 különböző nyomóerőt gyakoroltak a fogantyúra a kesztyűteszt során. A rezgésátvitel számítása és a statisztikai módszerek megegyeztek az előzőekben bemutatottakkal. A 32. ábra mutatja a rezgésátvitel értékeket 12 személy átlagában, az egyes nyomóerő kombinációkban a négy kesztyű vonatkozásában. (Az M.8.(a) táblázat, 8. melléklet foglalja össze a rezgésátvitel értékeket az egyes kondíciókra, a variációs együttható feltüntetése mellett.)

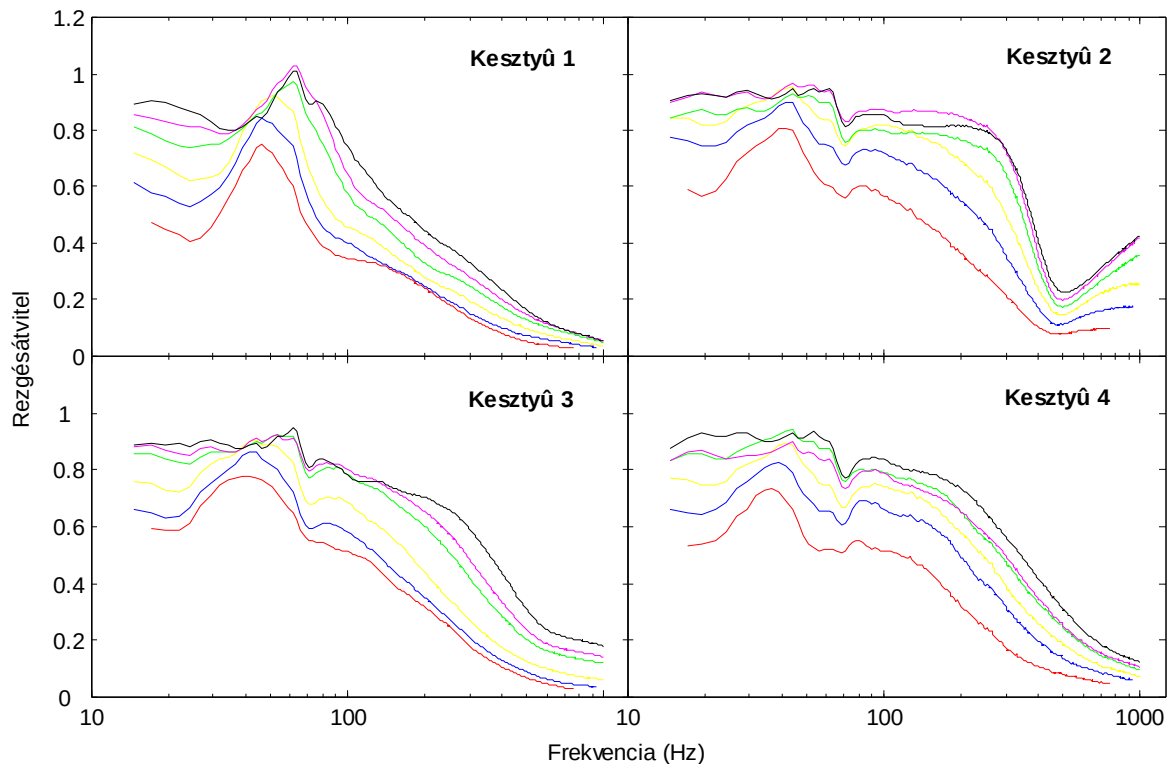


32. ábra Anti-vibrációs kesztyűk TR értékei (kék jel) a minimum és maximum értékekkel (szürke jel) a fogantyúra kifejtett nyomóerő függvényében (12 tesztszemély átlaga).

Az ábráról látható, hogy a rezgésátvitel értéke nagyban függ a fogantyúra kifejtett nyomóerő nagyságától; a nyomóerő növelésével nőtt a rezgésátvitel, vagyis romlott a kesztyű rezgéscsillapítása. A legalacsonyabb átlag TR értéket (0.513) Kesztyű1 esetében mértem 5 N nyomóerő mellett, a legmagasabb átlagértéket (0.881) pedig Kesztyű2 produkálta 50 N nyomóerő mellett. Az M.8.(a) táblázatából (8. melléklet) kiolvasható, hogy az egyéni minimum és maximum értékek egy kombináción belül, tág határok között változtak; a teszt során mért legalacsonyabb érték 0.400 volt (Kesztyű1, 5 N) a legmagasabb pedig meghaladta a rezgésátvitel határértékét (1.047, Kesztyű2, 50 N).

A Spearman korrelációs vizsgálatot elvégezve egyértelmű, pozitív összefüggést találtam a nyomóerő nagysága és az átlag TR érték között ($r=0.943$, $p(\text{two-tailed})=0.005$ Kesztyű2 és 4-nél, és $r=1.00$, $p(\text{two-tailed})=0.000$ Kesztyű1 és 3-nál). Ez megerősíti az ábrán tett megfigyelést; minél nagyobb a fogantyúra gyakorolt nyomóerő, annál rosszabb a kesztyű rezgéscsillapítása.

Az átlag rezgésátvitelt a 6,3-1000 Hz frekvenciatartományban ábrázoltam (az egyes grafikonok azon frekvenciatartományban láthatóak, ahol a koherencia nagyobb volt 0.9-nél). A kimenő és bemenő jel közötti átlag koherenciát (12 tesztszemély átlagában) a frekvencia szerint, a négy kesztyűre az M.9.(a) ábra (9. melléklet) mutatja.



33. ábra A fogantyúra gyakorolt nyomóerő hatása 4 anti-vibrációs kesztyű rezgsátvitelére a frekvencia függvényében, 2 ms^{-2} r.m.s. rezgsgyorsulás mellett (12 tesztalany átlaga: — 5 N; — 10 N; — 20 N; — 40 N; — 50 N; — 80 N).

A 33. ábrán látható, hogy az egyes nyomóerőkhöz tartozó rezgsátviteli görbék eltéréseket mutatnak a teljes frekvenciatartományban mind a négy kesztyűnél. Az ábráról az is leolvasható, hogy a nyomóerő növelésével nőtt a kesztyű rezonanciafrekvenciája. A vizsgált 16 Hz és 1000 Hz frekvenciatartomány valamennyi oktávsávjában statisztikailag szignifikáns különbséget mutatott az egyes nyomóerőkkel mért rezgsátvitel értékeket tekintve a Friedman teszt ($p \leq 0.002$) (M.9.(a) táblázat, 9. melléklet). A Wilcoxon teszt elvégzésével összehasonlítottam az 50 N nyomóerővel mért rezgsátvitelt a többi nyomóerővel kapott eredménnyel. Az M.9.(b) táblázatából (9. melléklet) látható, hogy a nyomóerő változtatása, különösen 125 Hz felett, eltérő mértékben befolyásolta a vizsgált kesztyűk rezgsátvitelét. Amíg például Kesztyű1-nél 40, 50 és 80 N-on mért rezgsátvitel közel azonos értékeket adott a 250 és 1000 Hz középfrekvenciákon, addig Kesztyű3-nál minden esetben szignifikáns eltérést figyeltem meg a rezgsátvitelben a három nyomóerővel. Csakúgy, mint az előző szekciókban, a kesztyűk közötti eltérő válaszreakció okát feltehetően a kesztyűk különböző anyagában és annak viszko-elasztikus tulajdonságában kell keresni.

5.2.4. A tesztalanyok közti különbségek hatása a mérési eredményre

Mivel a kesztyűtesztek során minden mérést ismétlés nélkül végeztem, ezért az egyes kondíciókra kalkulált variációs koefficiens (CoV), amely a 12 tesztszemély rezgésátvitel értékek szórásának és átlagának a hányadosa, információt ad a tesztalanyokkal mért értékek közötti különbségek nagyságáról. Az irodalmi áttekintésben bemutatottak alapján a tesztalanyokkal végzett szabványos mérések jelentős eltérést mutathatnak. A 13. táblázat összegzi a tesztek során minden kondícióra a variációs koefficiens értékeit 12 tesztszemély átlagában.

13. táblázat A rezgésátvitel értékek variációs koefficiense a mérések három szakaszában, 12 tesztszemély egyéni eredményeiből számítva, valamennyi kondícióra.

rezgés- spektrum típusa	rezgés amplitúdó m/s ² rms	nyomó(szorító)- erő a fogantyún N	CoV					
			kesztyű nélkül	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4	összes kesztyű
M	3.4	50(30)	0.026	0.132	0.078	0.090	0.095	0.049
H	3.3	50(30)	0.027	0.154	0.104	0.143	0.164	0.196
R	3.0	50(30)	0.031	0.123	0.077	0.102	0.107	0.066
láncfűrész(AV)	2.6	50(30)	0.025	0.161	0.075	0.084	0.067	0.127
láncfűrész(nonAV)	17.2	50(30)	0.037	0.178	0.089	0.105	0.117	0.105
M	3.4	50(30)	0.007	0.087	0.064	0.083	0.065	0.065
H	3.3	50(30)	0.007	0.138	0.069	0.096	0.073	0.169
R	3.0	50(30)	0.007	0.103	0.065	0.083	0.065	0.084
fűkasza(új)	2.8	50(30)	0.007	0.092	0.062	0.078	0.062	0.054
fűkasza (régi)	3.3	50(30)	0.007	0.096	0.063	0.079	0.062	0.072
fűnyíró	5.5	50(30)	0.007	0.082	0.063	0.080	0.063	0.017
sövényvágó	5.6	50(30)	0.008	0.082	0.062	0.076	0.060	0.009
R	0.25	50(-)	-	0.096	0.049	0.094	0.097	0.089
R	0.5	50(-)	-	0.096	0.062	0.095	0.138	0.089
R	1.0	50(-)	-	0.111	0.079	0.106	0.142	0.076
R	2.0	50(-)	-	0.105	0.085	0.151	0.157	0.069
R	4.0	50(-)	-	0.101	0.094	0.143	0.163	0.061
R	8.0	50(-)	-	0.102	0.098	0.138	0.176	0.046
R	2.0	5(-)	-	0.146	0.206	0.190	0.108	0.087
R	2.0	10(-)	-	0.201	0.196	0.162	0.151	0.092
R	2.0	20(-)	-	0.170	0.160	0.157	0.119	0.085
R	2.0	40(-)	-	0.123	0.172	0.135	0.080	0.066
R	2.0	50(-)	-	0.088	0.145	0.126	0.113	0.053
R	2.0	80(-)	-	0.100	0.136	0.125	0.109	0.039

Megjegyzés: szürke háttér=kísérlet 1. szakasz, 1. tesztcsoporttal, fehér háttér=kísérlet 1. szakasz, 2. tesztcsoporttal, sárga háttér=kísérlet 2. szakasz, zöld háttér=kísérlet 3. szakasz

A táblázatból könnyen kiolvasható, hogy az egyének közötti eltérés rendkívül alacsony volt a kesztyű nélküli tesztekben (kísérlet első szakasza, mindkét tesztcsoporttal). A legnagyobb különbség az egyéni eredmények között 3.7 % volt láncfűrész rezgésspektrummal. A második tesztcsoporttal végzett mérések során az egyéni értékek eltérése kisebb volt 1 %-nál. A vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy kesztyű nélkül a kéz-

kar rendszer rezgésre adott válaszreakciója, a kézre ható rezgés mértéke minden személynél közel azonos volt.

Jelentős eltérések adódtak ugyanakkor a kesztyűk viselésekor a teszteredményekben. Az első szakasz első tesztcsoportjánál (13. táblázat, szürke alap) Kesztyű1 esetében volt a legmagasabb, 16.1 és 17.8 % az egyének rezgésátvitel értékei közötti eltérés a láncfűrész spektrumokkal. A nagy variációk oka feltehetően a kesztyű párnázottságának vastagságában keresendő. A tesztalanyok jelezték, hogy nehéz volt a kézi adaptert a megfelelő pozícióban tartani, illetve a kívánt erő kifejtést szabályozni a fogantyún. Kesztyű2 esetében voltak a legalacsonyabbak az eltérések, de még ezek is meghaladták az 5 %-ot függetlenül a rezgésspektrumtól.

Az első szakasz második tesztcsoportjánál általában alacsonyabb -10 % alatti- volt a variációs együttható értéke. A legnagyobb eltérések (13.8 %) az egyéni rezgésátvitel-értékekben szintén Kesztyű1-el figyelhetők meg. Kesztyű2 esetében volt a legkisebb a személyek közötti különbségek hatása. A H spektrummal mindkét tesztcsoportnál nagy eltérések voltak. Hasonló megfigyelést tettek más tanulmányok is (Dong *et al.* 2002b, Hewitt 1997). Ez a spektrum éppen abban a frekvenciatartományban domináns, ahol a kesztyűk a legnagyobb rezgéscsillapítást mutatták. Ennek köszönhetően minimális változás, például a kesztyű anyagának deformitás változása fokozottan nyilvánul meg a rezgésátvitel-értékben.

A kesztyűtesztek második szakaszában, amikor az eltérő rezgéserősségek hatását vizsgáltam, újfent jelentős eltérések mutatkoztak az egyének között (13. táblázat, sárga mező). Annak ellenére, hogy a rezgéserősség növelésének hatása gyakorlatilag elhanyagolható mértékben befolyásolta a kesztyűk rezgéscsillapítását, a személyek közötti különbségek három kesztyűnél a rezgéserősséghez igazodva, jelentős mértékben változtak. Kesztyű2,3,4 esetében a rezgéserősség növelésével nőtt az egyéni rezgésátvitel értékek közötti differencia; 0.25 ms^{-2} r.m.s. rezgéserősségnél 4.9 % volt a CoV (Kesztyű 2), míg 8 ms^{-2} r.m.s. rezgéserősségnél 17.6 % (Kesztyű4). Kesztyű1 nem mutatott jelentős változást. Mivel három kesztyűnél is nőtt az egyének közötti eltérés a rezgéserősség hatására, így nagyobb rezgéserősségnél az anti-vibrációs kesztyű hatékonyságának mutatószáma nem megbízható. Előfordulhat, hogy egyes személyeknél, eltérő fizikai vagy egyéb adottságuknál fogva a kesztyű nemhogy nem csökkenti, hanem növelni fogja a kézre ható rezgést, amikor a kesztyűt egy nagy rezgés kibocsátású eszközzel, például láncfűrészszel, használják. Ez már a szabványos tesztkörülmények között végzett mérések maximális értékeinél is látható volt (12. táblázat).

Ezzel ellentétes tendencia figyelhető meg a mérések harmadik szakaszában, amikor a fogantyúra gyakorolt nyomóerő változott (13. táblázat, zöld mező). A nyomóerő növelésével, 5 N-ről 80 N-ra, csökkentette az egyének közötti eltérést Kesztyű_{1,2,3} esetében (20.6 %-ról 10.0 %-ra). Ez azzal magyarázható, hogy a tesztalanyok a nagyobb nyomóerő gyakorlásával pontosabban tudták az adaptert a kívánt pozícióban tartani, ami csökkentette a mérési bizonytalanságot és így az egyéni rezgésátvitel különbözőségét.

Amikor megvizsgáltam a kesztyűk hatékonysága közötti eltérést az egyes szakaszokban, azt találtam, hogy az egyének közötti eltérés általában nagyobb volt, mint a kesztyűk csillapítása közötti differencia (13. táblázat). Ez arra utal, hogy a kesztyű típusának szerepe másodrendű a viselőjének személyes jellemzőihez képest. Ez egyben rávilágít arra, hogy a személyek közötti eltérés kiemelt befolyásoló tényező az anti-vibrációs kesztyűk hatékonyságának vizsgálatában.

Mivel az egyéni rezgésterhelés értékek között nagy különbségek mutatkoztak, Spearman korrelációs vizsgálattal teszteltem, hogy van-e összefüggés a kézfej átmérője alapján számított kéznagyság és a négy kesztyűvel mért egyéni *TR* értékek között a láncfűrész- és a valós eszközök szintetizált spektrumaival. Az M.10.(a) táblázatából látható (10. melléklet), hogy egyetlen esetben sem sikerült szignifikáns összefüggést ($\alpha \leq 0.05$) kimutatni az egyének kéznagysága és a kesztyű rezgéscsillapítása között.

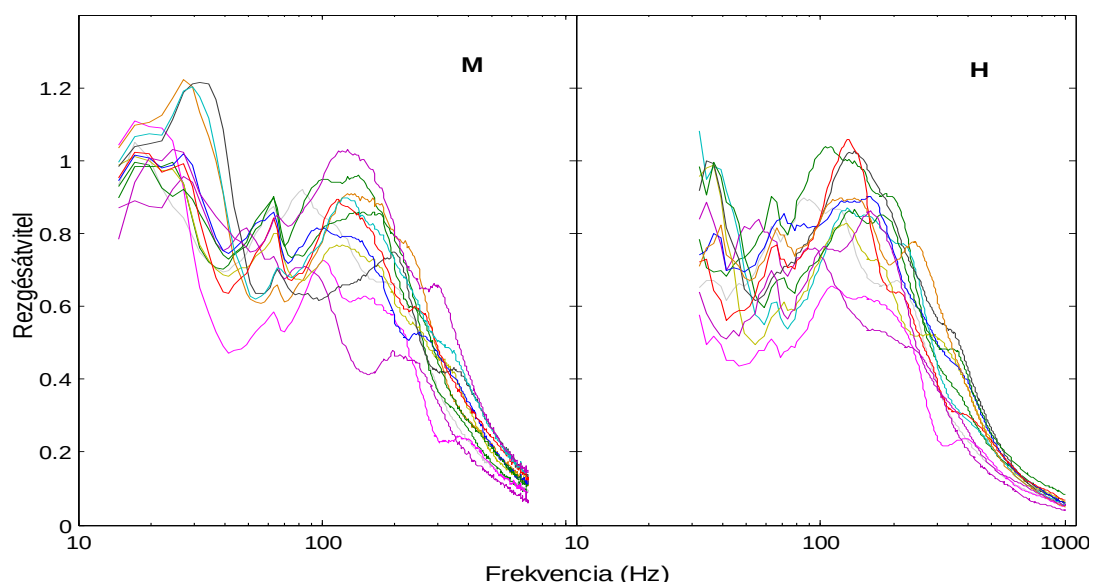
Egyértelmű, hogy az egyéni tényezőnek meghatározó szerepe van egy kesztyű hatékonyságának megítélésében. Az ISO 10819:1996 szabvány három tesztszemély bevonását írja elő a vizsgálatokba és a méréseket kétszeri ismétlésben kell elvégezni. Az előzőekben látható volt, hogy a tesztszemély kiválasztásától függően egy kesztyű átmehet, vagy megbukhat a szabványos vizsgálaton (*TR* érték < 1 az M spektrummal és *TR* érték < 0.6 H spektrummal vizsgálva), sőt egy minősített anti-vibrációs kesztyű sem biztosít minden használó számára védelmet. A tesztfolyamat megbízhatóságának ellenőrzésére megvizsgáltam, hogy az első három, illetve az összes, 12 tesztszemély bevonásával miként alakultak a *TR* értékek és a variációs együttható (az M, H, R és láncfűrész spektrumokkal). A 14. táblázat azt mutatja, hogy a *TR* értékek általában alacsonyabbak voltak a 3 tesztszeméllyel végzett vizsgálatok során, ezért a szabványos kesztyűteszt nem ad elég pontos eredményt egy kesztyű rezgéscsillapításáról. A 12 emberrel végzett vizsgálatok során nagyobb eséllyel kerül olyan tesztalany a csoportba, akinél, mint ahogyan ez meg is történt, a rezgésátvitel értéke nagyobb lehet 1.0-nél vagy 0.6-nál a szabvány spektrumokkal. Az egyéni tényezők számottevő hatását a variációs együttható is mutatja; míg például Kesztyű₂-nél a szabványos tesztben az M és H spektrumokkal 2.1 % és 4.1 % volt az

egyének közötti eltérés, addig a 12 emberrel végzett tesztekben ez a különbség 7.8 % és 10.4 %-ra emelkedett. Mivel a határértékek teljesítése rendkívül kis különbségeken múlhat, újra ki kell emelni a tesztszemélyek kiválasztásának problémáját; a 'megfelelő' alanyokkal egy kesztyű megkaphatja a minősítést, annak ellenére, hogy a valóságban nem rendelkezik anti-vibrációs hatékonysággal.

14. táblázat A tesztalanyok számának befolyása az átlagos TR és CoV értékek alakulására.

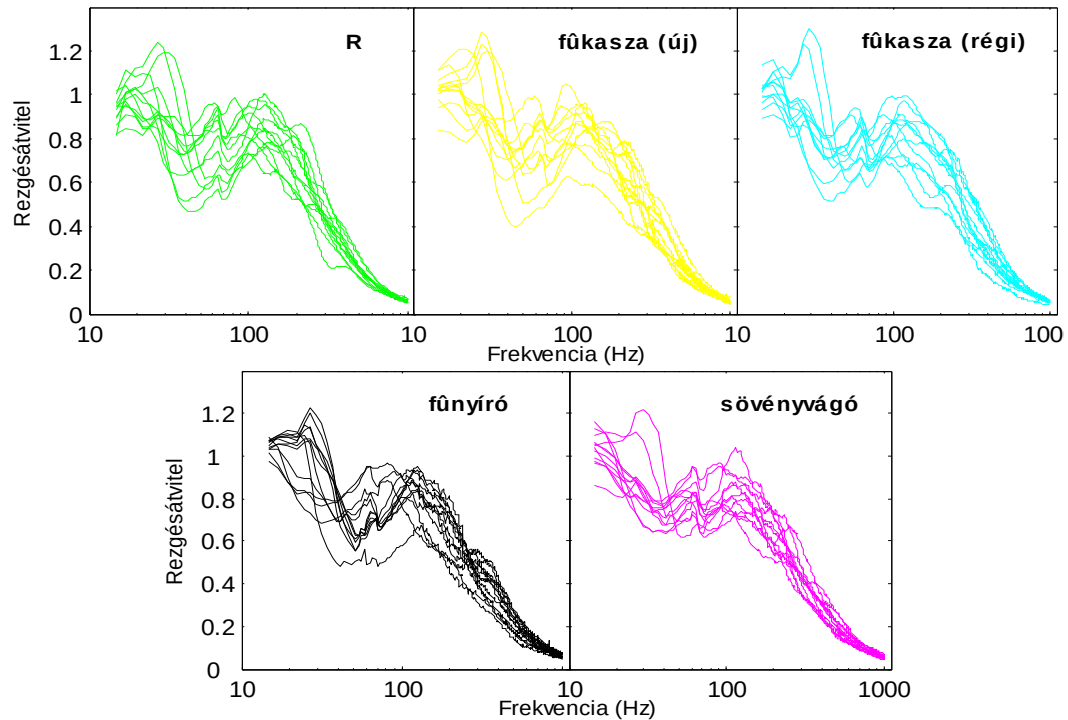
Rezgés-spektrum	Tesztalanyok száma	Kesztyű nélkül		Kesztyű 1		Kesztyű 2		Kesztyű 3		Kesztyű 4	
		TR	CoV	TR	CoV	TR	CoV	TR	CoV	TR	CoV
M	12	1.064	0.026	0.872	0.132	0.984	0.078	0.928	0.090	0.937	0.095
	3	1.029	0.034	0.889	0.150	0.951	0.021	0.864	0.063	0.855	0.069
H	12	1.104	0.027	0.483	0.108	0.766	0.104	0.623	0.143	0.614	0.164
	3	1.073	0.033	0.468	0.090	0.709	0.041	0.623	0.063	0.613	0.208
R	12	1.066	0.031	0.813	0.123	0.956	0.077	0.892	0.102	0.883	0.107
	3	1.017	0.024	0.774	0.108	0.923	0.042	0.849	0.075	0.830	0.024
láncfűrész (AV)	12	1.070	0.025	0.721	0.133	0.959	0.075	0.838	0.084	0.870	0.067
	3	1.044	0.041	0.691	0.045	0.930	0.019	0.810	0.060	0.858	0.060
láncfűrész (nonAV)	12	1.071	0.037	0.714	0.178	0.924	0.089	0.821	0.105	0.838	0.117
	3	1.018	0.048	0.673	0.055	0.893	0.083	0.807	0.073	0.802	0.107

A rezgésátvitel frekvencia szerinti ábrázolásakor is jól láthatóak az egyének eltérő válaszreakciói. A 34. ábra a legnagyobb variációs együtthatóval rendelkező Kesztyű1 rezgésátviteli görbéit mutatja a 12 tesztszeméllyel, a két szabványos spektrummal mérve.



34. ábra 12 tesztszeméllyel végzett rezgésátvitel görbék Kesztyű1-el, M és H spektrumokkal mérve (az eltérő színek az egyes személyeket jelenítik meg).

A különböző tesztszemélyekkel végzett mérések eredményeinek nagyfokú változatossága nemcsak a szabványos spektrumok alkalmazásakor fordult elő, hanem az összes többi spektrumnál is. A 35. ábra az R és a kertészeti kisgépek szintetizált spektrumaival mért egyéni eredményeket mutatja Kesztyű1 viselése mellett. Az ábra alátámasztja a korábbi megfigyelést, miszerint a kesztyűk viselkedése és hatékonysága függ a viselőtől és sok esetben, nemhogy csillapítja, hanem növeli a kézre ható rezgés mértékét.



35. ábra Kesztyű1 rezgésátviteli görbéi a frekvencia függvényében (12 tesztszemély és 5 spektrum bevonásával).

5.2.5. Összefoglalás és értékelés

Annak ellenére, hogy az anti-vibrációs kesztyű egy hatékony és olcsó megoldásnak tűnik a kézi gépek gerjesztette rezgések, és a kézre ható vibráció mérséklésére, az ilyen jellegű kesztyűk hatásmechanizmusa és a hatékonyságát befolyásoló tényezők még nem tisztázottak. Az ISO 10819:1996 szabvány hivatott egy kesztyű minősítési vizsgálatának körülményeit és módszerét leírni. A szabványban azonban számos tényező vagy nincs definiálva (például a személyek közötti eltérés jelentősége), vagy nem tükrözi a valóságos munkakörülményeket.

A kísérlet első szakaszában különböző, valós kézi gépek rezgését szintetizáltam és azokkal teszteltem az anti-vibrációs minősítéssel rendelkező kesztyűket. Látható volt, hogy

ebben a méréssorozatban, a minősített kesztyű nem minden esetben felelt meg az elvárásoknak. Csupán Kesztyű1 rendelkezett határérték alatti rezgésátvitel értékekkel a 12 tesztszemély átlagában. Az egyének teljesítménye közötti jelentős eltérés miatt azonban mindkét szabványos spektrummal mérhetőek voltak határérték alatti rezgésátvitel értékek. Ez mindenképpen megerősíti a korábbi megfigyeléseket (Dong *et al.* 2002b, Griffin 1998) mi szerint a tesztszemélyek megválasztásával befolyásolni lehet egy kesztyű minősítését. Mivel az ISO 10819:1996 szabvány nem veszi figyelembe az egyéni rezgésátvitel értékek nagyfokú szóródását, ezért kétséges, hogy a szabványos M és H spektrumokkal végzett teszt megbízható-e. Ezen túlmenően a mérésekből az is kiderült, hogy a szabványos M és H spektrumokkal mért eredmények nem megfelelő indikátorai a kesztyűk hatékonyságának. Az M spektrummal mért rezgésátvitel értékek láncfűrészek esetében alulértékelték a kesztyűk hatékonyságát, ezzel szemben a fűkaszák, fűnyíró és sövényvágó rezgésekkel a kesztyűk rosszabbul teljesítettek, mint ahogyan az a szabvány teszt alapján elvárható lett volna. A H spektrummal mért rezgésátvitel értékek rendre alacsonyabbak voltak, mint a kertészeti gépekkel mért értékek. Habár az eltérő spektrumokkal mért rezgésátvitel közötti differencia nem minden esetben volt statisztikailag szignifikáns, a tesztek megerősítették a korábbi tanulmányok megállapítását; egy anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítását befolyásolja a csökkenteni kívánt rezgés spektruma (Dong *et al.* 2005b, Griffin 1998, Rakheja *et al.* 2002). Mivel a szabványos spektrumok nem reprezentatívak a túlnyomóan alacsony frekvencián domináns kertészeti kisgépek rezgéseit tekintve, a szabványos spektrumokkal végzett mérések nem megbízhatóak egy kesztyű hatékonyságának megítélésben. A tesztek során minden kesztyűnél, többször előfordult, hogy egyes személyeknél az anti-vibrációs kesztyű viselése nemhogy csökkentette, de növelte a kézre átadódó rezgés mértékét, amikor a kesztyűket a valós gépek szintetizált spektrumával teszteltem. Az R spektrum, a korábbi tanulmányokhoz hasonlóan (Griffin 1998, Dong *et al.* 2009) megfelelő alternatívának bizonyult a szabványos spektrumok helyett. Az alacsonyabb egyének közötti eltérésekből és a valós gépek spektrumának jobb reprezentációjából adódóan, az R spektrum alkalmazásával nemcsak megbízhatóbb adatokat kapunk egy kesztyű rezgésátviteléről, de a tesztelési idő a felére csökkenhet. A kísérlet első szakaszának eredménye azt mutatja, hogy a kesztyűteszt megbízhatóságának érdekében valós eszközök rezgését szintetizáló spektrumokkal kellene végezni a méréseket. Ez lehetőséget adna kisgép-specifikus kesztyűk fejlesztésére és minősítésére is.

A négy vizsgált anti-vibrációs kesztyű eltérő rezgéscsillapítással rendelkezett, abban azonban megegyeztek, hogy alacsony frekvencián nem, vagy minimális mértékben

csillapították a kézre ható rezgést (28. ábra). A kesztyűk között nem csak a TR értékekben voltak eltérések, de a rezgésátvitel frekvencia szerinti alakulásában is (28. 31. és 33. ábra). Három kesztyű 40 %-kal csökkentette a kézre átadódó rezgés mértékét 250 Hz felett. A vizsgálataim eredményei összhangban voltak Dong és társai megállapításával (2009), akik azt találták, hogy a kesztyűk csak a rezonancia frekvenciájuk felett (az általuk vizsgált két kesztyűnél ez 243 Hz és 296 Hz volt) csillapították számottevően a kézre ható rezgés mértékét.

A szabvány nem írja elő, hogy a rezgésátvitelt a frekvencia szerint is értékelni kell. Így fordulhat elő, hogy a rezgésátvitel-érték alapján legjobbnak ítélt Kesztyű1, amely vastag párnázott kesztyű volt, nem ajánlható alacsony frekvenciás kézi gépekkel alkalmazva, mivel ez a kesztyű éppen az alacsony frekvencián növelte a kézre ható rezgést. Ezen túlmenően ez a kesztyű bizonyult a legérzékenyebbnek a vibráció spektrumának változtatására és a vastagságából adódóan az egyének közötti eltérés is általában ezzel volt a legjelentősebb. Az egyes kesztyűk rezgéscsillapítása feltehetően az anyaguk dinamikus tulajdonságaival van összefüggésben. A kesztyűk hatékonysága növelhető például a rezgésszigetelő anyag vastagságának növelésével, vagy az anyag merevségének változtatásával. A túl vastag, vagy rugalmatlan anyag azonban megnehezíti a biztonságos géptartást, csökkentheti a vérkeringést és a kezek gyors fáradásához vezethet (Brown 1990, Muralidhar *et al.* 1999). Ezeket a tüneteket több tesztalany is tapasztalta Kesztyű1 viselésekor. Látható, hogy rendkívül nehéz megtalálni a kesztyűk tervezésénél és kialakításánál az optimális középutat a hatékony rezgéscsillapítás és a kényelmes és biztonságos viselet között.

A kesztyűk rezgéscsillapítása a nyomóerő és rezgés erősségének függvényében változott. A kesztyűk frekvenciaátviteli függvényének ábrázolásából kiderült, hogy ez a változás a kesztyű rezgésátvitelének jellegét alapvetően nem, csak a csillapítás nagyságát és a rezonanciafrekvenciát érintette (31. és 33. ábra). A rezgés amplitúdójának növekedésével Kesztyű1 esetében romlott, míg a többi kesztyűnél javult a hatékonyság. A rezgés nagysága és a nyomóerő hatásának összehasonlításakor elmondható, hogy a rezgés erőssége gyakorlatilag elhanyagolható hatással van a kesztyűk viselkedésére. A nyomóerő növelésével minden esetben romlott az anti-vibrációs kesztyűk hatékonysága, de a frekvenciaátviteli függvény képe itt is szinte változatlan volt (30. ábra). A kesztyűk rezonanciafrekvenciájának eltolódása különösen a nyomóerő változásakor volt számottevő (33. ábra). A mérési eredmények azt mutatják, hogy a kesztyű dinamikája, vagy a kéz-kar rendszer dinamikája, vagy kesztyű-kéz-kar rendszer dinamikája változik a nyomóerő

függvényében. Dong és társai (2009) két kesztyűt vizsgálva és modellezve megállapították, hogy a kesztyű rezonancia frekvenciája, amely befolyásolja, hogy a kesztyű mely frekvencia felett csillapít számottevően, több tényezőtől függ; a tenyér merevsége, a kesztyű merevsége, a tenyér effektív tömege és a kesztyű tömege. Ez alapján nyomóerő nagysága hatással lehetett a vizsgált kesztyűk anyagának merevségére, amely meghatározza a rezonanciafrekvenciát, végeredményben pedig a csillapítást is. A nyomóerő változtatása jelentős hatással volt az általam vizsgált kesztyű rezgésátvitelére, különösen az 50 N alatti nyomóerők esetén. A jobb csillapításnak 5 és 40 N között több magyarázata is lehet: (i) alacsonyabb nyomóerők mellett a kéz kevésbé kapcsolódik a rezgő fogantyúhoz, ezáltal kisebb lesz az érintkezési felület a kéz és a fogantyú között (Welcome *et al.* 2004), (ii) a kéz által kifejtett nyomás változása hatással van a kesztyű viszko-elasztikus tulajdonságára, (iii) a nyomóerő változása módosítja a kéz-kar rendszer mechanikai impedanciáját (Dong *et al.* 2005a), vagy (iv) alacsonyabb nyomóerők mellett az adapter könnyebb elfordulása idézhet elő jobb csillapítást (Dong *et al.* 2002b). Az ebben a mérésorozatban megfigyelt rezonanciafrekvencia növekedést más tanulmányokban is jeleztek (Książek *et al.* 2001, Rakheja *et al.* 2002, Smutz *et al.* 2002, Dong *et al.* 2004, 2005a, 2009). A kesztyű viselkedésének nyomóerőtől való függése alapján elmondható, hogy egy anti-vibrációs kesztyű rezgéscsillapítása fokozható, a biztonságos munkavégzés feltételeinek betartásával, ha az eszköz fogantyújára a lehető legkisebb erőt fejtik ki.

A fogantyú minél kisebb erővel történő megmarkolása azonban a kesztyűteszt során nem célszerű. A mérések során úgy tapasztaltam, hogy az adapter helyzetének megváltozása az egyik fő forrása az egyéni eredmények közötti eltérésnek. Alacsonyabb nyomóerőkkel végzett tesztek nem adnak pontos képet a kesztyű hatékonyságáról, mivel az alacsony frekvenciás lökések szeparálják a kezét a fogantyútól, csökkentve ezzel a csillapítást, növelve az egyének közötti eltérések nagyságát (Dong *et al.* 2002a). A nyomóerő változtatásával az adapter a rezgésirány síkjához képest akár 40°-kal is elfordulhat, illetve a túl vastag, vagy túl merev kesztyű esetén a fogantyúra nem fekszik fel, hanem kicsit megbillenhet rajta (Dong *et al.* 2002b). Ezt akár 20 %-kal alacsonyabb rezgésátvitel-értéket is eredményezhet (Hewitt 1998). Ez a jelenség a mérések során különösen Kesztyű1 mellett fordult elő. Az adapter elmozdulásának következtében a gyorsulásérzékelő nem csak az axiális, z_h irányú rezgéseket érzékeli, de az oldalirányúakat is, ami torzíthatja az eredményeket és rontja az ismételhetőséget is. Az adapter helyzetének megváltoztatása, amit a teszt során a kesztyűn belül nagyon nehéz kontrollálni, ezen túlmenően megváltoztathatja az érintkezési kondíciókat (tenyér kontakt felülete a

fogantyúval, fogantyúra gyakorolt nyomás, kesztyű merevségének változása), ami befolyásolja a kesztyű viselkedését (Dong *et al.* 2005a). A nem megfelelő pozicionálás elsősorban alacsony frekvencián eredményez csökkent rezgésátvitelt (Dong *et al.* 2002b), amely miatt az én kísérletemben is több mérőszorozatot meg kellett ismételni (a koherencia nagyon alacsony volt). Úgy vélem, hogy nagyobb nyomóerő mellett azért csökkent az egyének rezgésátvitel-értékei közötti eltérés, mert az adaptert könnyebben tudták a kívánt pozícióban tartani (13. táblázat, zöld mező). A magasabb nyomóerő mellett a rezgésátvitel-értékek alacsonyabb variációs koefficienseinek jelenségét más tanulmányban is megfigyelték (Dong *et al.* 2002a). Annak ellenére, hogy az adapterrel kapcsolatos problémára számos más kutatócsoport is felhívta a figyelmet (Smutz *et al.* 2002, Dong *et al.* 2002b, 2005d, 2009), a pozicionálásából eredő bizonytalanságot, amely forrása lehet a tesztalanyok eltérő teljesítményének, a szabvány szintén nem veszi figyelembe.

A kísérlet mindhárom szakaszában magas volt az egyének közötti eltérés a rezgésátvitel-értékeket tekintve. Az is megállapítható, hogy a kesztyűk csillapítása közötti eltérés általában kisebb volt, mint az egyéni rezgésátvitel vizsgálatok közötti eltérés. Ez arra enged következtetni, hogy egy kesztyű hatékonyságát elsősorban a viselője fizikai tulajdonságai határozzák meg és nem a típusa. Elméletben a nagyobb kezű emberek esetében több rezgés adódik át a kézre, mivel a nagyobb kéz nagyobb kontakt felületet jelent. Ebben a kísérletben azonban nem találtam szignifikáns összefüggést a kéz mérete és a kesztyű rezgésátvitel között. Látható, hogy a kéz-kar rendszer sokkal összetettebb és számos tényező együttes hatása (a kéz mérete, a tömege, a merevsége, a szövetek vastagsága, stb.) alakíthatja egy kesztyű rezgéscsillapítását.

Az első szakaszban mindkét tesztcsoporttal végzett mérések azt mutatták, hogy a szabványos spektrumok esetében, egy minősítésre váró kesztyű megbukhat, vagy átmehet a vizsgálaton attól függően, hogy kik a tesztszemélyek. Egyértelmű, hogy az egyének közötti nagyfokú eltérés miatt a kesztyűteszt eredménye nem megbízható. Ebből a varianciából az is következik, hogy egy minősített kesztyű nem feltétlenül nyújtja ugyanazt a csillapítást minden viselőjének. Az ISO 10819:1996 szabvány nem veszi figyelembe az egyéni tényezők meghatározó szerepét és a méréseimből is látható, hogy a három emberrel elvégzett teszt nem reprezentatív. Hasonló megállapításra jutottak Dong és munkatársai (2004). A kesztyűteszt pontossága növelhető volna, ha a három emberrel végzett kétszeri ismételés helyett legalább kétszer annyi tesztszemély volna bevonva a vizsgálatokba.

A kesztyűteszteknel nem csak az egyének közötti eltérés lehet meghatározó, de a tesztkörülmények különbözősége is. Boileau és társai (2002) két anti-vibrációs kesztyűt

vizsgáltak három laboratóriumban. Azt találták, hogy az egyéni rezgésátvitel-értékek között 26.5 %-tól (M spektrummal) 110 %-ig (H spektrummal) terjedtek az eltérések az egyes laboratóriumok között. A kísérlet első szakaszában két tesztcsoporttal végeztem a méréseket 4 hónap eltéréssel. Mivel a tesztalanyok jellemzői nagyon hasonlóak voltak, ezért elképzelhető, hogy a 28. ábrán látható grafikonok eltérése (a másodlagos rezonanciafrekvenciák jelenléte) a műszerek újbóli beállításából, kalibrálásból, az időközben kicserélt gyorsulásérzékelő (ugyanazon típusú) eltérése miatt tűnt fel. Jelen kísérlet első szakaszában a legnagyobb eltérés az egyéni rezgésátvitel-értékek között a két tesztcsoportot nézve 71 % volt az M spektrumra (Kesztyű1) és 60 % volt a H spektrumra (Kesztyű4) (13. táblázat), ami alacsonyabb, mint Boileau és társai (2002) tanulmányában.

Összességében azt lehet mondani, hogy a kesztyű csillapítása elsősorban az egyéntől és a fogantyúra gyakorolt nyomóerő nagyságától függ, másodsorban pedig a rezgés spektrumától. Annak ellenére, hogy a statisztikai tesztek néhány frekvencián szignifikáns eltérést mutattak az egyes rezgésérőségekkel mért rezgésátvitel-értékek között, kijelenthető, hogy a vizsgált anti-vibrációs kesztyűk hatékonysága gyakorlati szempontból lényegében független a rezgés erősségétől.

5.3. Új tudományos eredmények

A 2005-2009 között végzett vizsgálatok során az alábbi új tudományos eredményeket értem el:

1. Megvizsgáltam három, kertészetben alkalmazott, kézi eszközcsoporthoz - valós üzemi körülmények között mért - kézre ható rezgését. A vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tettem:
 - a) A 4.1.1. és 5.1.1. fejezetben ismertetett benzinmotoros kézi gépek (11 fűkasza, 4 fűnyíró és 1 sövényvágó) kézre ható rezgésterhelése (a (6)-(7) képlettel számítva) éppen a kéz-kar rendszer legérzékenyebb (Aldien *et al.* 2006), 100-200 Hz közötti tartományában volt domináns. Ezt mind a rezgés előidézte károsodás kockázatának megítélésénél, mind az alkalmazott, kézre átvihető rezgést csökkentő módszer megválasztásánál meghatározó szempont lehet.
 - b) A vizsgált fűkasza és sövényvágó eszközökön végzett mérésekkel igazoltam, hogy eszközök (fűkaszáknál alaptartáshoz képest 45 fokban, sövényvágónál alaptartáshoz képest 90 fokban) oldalra döntésekor statisztikailag

szignifikáns eltérés adódott a kézre ható rezgésterhelésben, az alaptartásban mért értékekhez viszonyítva (Wilcoxon teszt, $p < 0.05$).

2. Benzinmotoros fűkaszákat vizsgálva igazoltam a korrelációt az üzemóra és a rezgésterhelés változása között (Spearman korreláció, $r = 0.922$, $p(\text{two tailed}) = 0.000$). Az üzemóra szám növekedésével nőtt a kézre ható rezgésterhelés.
3. Kidolgoztam a kertészeti kisgépek rezgésspektrumának *HvLab* számítógépes programmal és elektrodinamikus rezgésgerjesztővel való szintetizálásának módszerét. Az így kapott szintetizált spektrumokkal elsőként vizsgáltam anti-vibrációs kesztyűk rezgéscsillapítását. Az eredmények alapján az alábbi megállapításokat tettem:
 - a) A szabványos módon elvégzett kesztyűteszttel kapott rezgésátviteli-értékek és a kertészeti kisgépek szintetizált spektrumával kapott értékek között statisztikailag szignifikáns eltérést mutattam ki (Friedman és Wilcoxon tesztek, $p < 0.05$). Ennek alapján megállapítottam, hogy a szabványos kesztyűteszt eredménye nem megfelelő indikátora az anti-vibrációs kesztyű hatékonyságának, amikor azt kertészeti kisgépek szintetizált rezgésspektrumával vizsgálják.
 - b) A vizsgált négy anti-vibrációs kesztyű alacsony frekvencián (16 és 150 Hz között), egyéntől függően, számos esetben növelte a kertészeti kisgépek szintetizált, kézre átvitt rezgésének mértékét.
 - c) Meghatároztam és összehasonlítottam négy anti-vibrációs kesztyűvel végzett mérésorozat során a kapott rezgésátviteli-értékeik variációs koefficiensét. Megállapítottam, hogy a vizsgált kesztyűk rezgéscsillapítása közötti eltérés általában kisebb volt, mint az egyes spektrumokon belül (M, R, láncfűrész(AV), láncfűrész(nonAV), fűkasza(új), fűkasza(régi)), a különböző tesztalanyokkal kapott értékek variációs koefficiense. Ebből arra következtettem, hogy a kesztyűk hatékonyságának legmeghatározóbb befolyásoló tényezője az egyéni tényező, amelyet a vonatkozó szabvány figyelmen kívül hagy.
 - d) Az egyéni tényezők egyik lehetséges magyarázataként megvizsgáltam a korrelációt a kézméret és a kesztyű rezgéscsillapításának változása között. A Spearman korrelációs vizsgálat nem igazolta ezt az összefüggést ($p(\text{two tailed}) < 0.05$).

e) Az anti-vibrációs kesztyűk hatékonyságát befolyásoló tényezők közül szisztematikusan vizsgáltam a rezgés erőssége (r.m.s. rezgésgyorsulás) és a fogantyú nyomó erejének befolyásoló szerepét. Megállapítottam, hogy a fogantyú nyomó ereje és az átlagos rezgésátviteli-érték változása között pozitív összefüggés volt (Spearman korreláció, $r=0.943$, $p(\text{two-tailed})=0.005$ Kesztyű2 és 4-nél, és $r=1.00$, $p(\text{two-tailed})=0.000$ Kesztyű1 és 3-nál). Friedman és Wilcoxon statisztikai tesztekkel azt is igazoltam, hogy az egyes nyomóerőkkel mért rezgésátviteli-értékek között (oktávsávonként összehasonlítva) szignifikáns különbség volt ($p<0.05$); a nyomóerő növekedésével romlott a kesztyű rezgéscsillapítása.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kézi gépek által keltett rezgés számos, elsősorban a kéz-kar rendszerre kiterjedő egészségügyi elváltozás forrása lehet.

Kertészeti kisgépek vonatkozásában elsőként végeztem átfogó vizsgálatokat három gépcsoport rezgésterhelésének és rezgés karakterisztikájának vonatkozásában a célból, hogy értékeljem azok gépkezelőre gyakorolt hatását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kertészetben alkalmazott motoros kézi gépek napi rendszeres és huzamos ideig való használata potenciális és fokozott veszélyt jelent a kezelőre nézve, függetlenül attól, hogy az eszköz anti-vibrációs rendszerrel felszerelt-e. Az egészségügyi kockázat nem csak a magas, a beavatkozási, sőt az expozíciós határértéket meghaladó súlyozott egyenértékű rezgésgyorsulásból, hanem az alacsony frekvencián domináns rezgésből is adódik. A dolgozatban bemutatottak alapján elmondható, hogy még az azonos kategóriájú gépek esetében is nagy különbségek jelentkezhetnek a kezelőt érő rezgésterhelésben, ezért az eszközök gondos megválasztásával csökkenthető a kockázat és növelhető a gépekkel végzett munkaidő hossza.

A kéz-kar vibrációs szindróma kialakulásában a rezgés jellemzői és az idő a meghatározó tényezők. A vizsgálataim alapján megállapítható, hogy még megfelelő karbantartás mellett is akár a duplájára nőhet a fűkaszák rezgésterhelése az üzemóra számmal arányosan. A vizsgált fűkaszák esetében a rezgésértékek kb. 250 üzemóra után lépték át a beavatkozási határértéket, de 1000 üzemóra után a kézre ható rezgés mértéke már nem változott jelentősen. Több éven keresztül nyomon követett, rezgésterhelés-változásra vonatkozó mérésorozattal meghatározható lenne egy karbantartási és felülvizsgálati útmutató az egyes géptípusokra.

Egy eszköz forgalomba kerülése előtt a gyártónak vagy méréssel, vagy összehasonlítással értékelnie kell annak a rezgés kibocsátását. A vizsgálataim eredményei egyértelművé tették, hogy a gyártók által új gépekre megadott rezgés kibocsátás értékek általában alacsonyabbak, mint a már használatban lévő eszközökkel mért rezgésterhelés, ezért a rezgés kibocsátás alapján elvégzett, gépkezelőt érő napi rezgésterhelés számítása alábecsülheti a valós terhelés mértékét.

A kertészetben alkalmazott eszközök keltette rezgés számos módszerrel méréselkelhető. Az egyik legolcsóbb megoldást az anti-vibrációs kesztyű használata jelentheti. A doktori kutatásom egyik célja az ilyen típusú kesztyűk hatékonyságának első alkalommal történő értékelése volt különböző kertészeti kisgépek szintetizált rezgésspektumával. Mivel az anti-

vibrációs kesztyűk elsősorban 150 Hz felett csillapítják a kézre ható rezgés mértékét (Griffin 1990), a vizsgált kesztyűk több esetben hatástalannak bizonyultak a főként alacsony frekvencián domináns kertészeti motoros kézigépek szintetizált rezgésének csillapításában. A megfelelő kesztyű kiválasztásában ezért rendkívül fontos szerepet kell kapjon a géprezgés jellegének ismerete.

Az anti-vibrációs kesztyűkkel végzett vizsgálatok felhívták arra a figyelmet, hogy a kesztyűk bizonyos tényezők hatására megváltoztatják rezgéscsillapításukat. Az egyik ilyen tényező a gép fogantyújára gyakorolt nyomóerő nagysága; egy kesztyű hatékonysága javul, ha a biztonságos gépkezelést szem előtt tartva a nyomóerő a lehető legkisebb mértékű.

Mind a kisgépek keltette rezgések, mind az anti-vibrációs kesztyűkkel végzett vizsgálatok során egyértelmű volt, hogy az egyéni tényező az egyik legmeghatározóbb teszteredményt befolyásoló faktor. További kutatásokat tartok szükségesnek annak feltárására, hogy az egyén mely fizikai jellemzője (súly, magasság, kézfelépítés, stb.) határozza meg a kézre átadódó rezgés mértékét. A kézre ható rezgés terjedésének megértésével nemcsak a vizsgálatok eredményeinek megbízhatósága javulna, de hatékonyabb rezgéscsökkentő módszerek kidolgozása is lehetségessé válna.

A doktori kutatás során végzett vizsgálataimat több szabványhoz igazodva végeztem el. Mind az irodalmi áttekintést követően, mind a mérések alatt azonban számos kérdés és probléma merült fel a szabványos tesztek metódusait illetően. Az alábbiakban a kézre ható rezgés értékelésére vonatkozó ISO 5349:2001 szabvánnyal kapcsolatban megfogalmazott észrevételeket és javaslatokat összegzem:

- E szabványban nincs meghatározva az egyes gépekre vonatkozó mérési idő hossza. Mivel a rezgés jellemzői befolyásolják a különböző mérési időkkel végzett vizsgálatok végeredményét, ezért javasolt az egyes gépcsoportokra a minimális rezgésmérési idő meghatározása. A doktori kutatásom során fűnyíró esetében a 20 s mérési időtartamot találtam megfelelőnek az ismételhetőség szempontjából. Bár feltételezem, hogy ez megfelelő mérési időtartam a többi eszközre nézve is, további vizsgálatok elvégzését javaslom ennek igazolására.
- A kisgépek rezgésterhelésének mérésekor a szabvány nem definiálja az üzemi pozíciót. Sövényvágóval és fűkaszával végzett vizsgálati eredményeim azt igazolták, hogy az eszköz kézben tartásának módja jelentősen befolyásolja annak rezgéskeltését. Ennek okán szükségesnek tartom az egyes eszközcsoportokra a valós munkakörülmények között jelentkező géptartási pozíciók szabványban való meghatározását és a vizsgálat ennek megfelelően történő elvégzését.

- A gépkezelőkkel végzett rezgésvizsgálatok eredményeinek nagyfokú szóródása miatt a csak 3 kezelővel végzett teszteredmény nem megbízható. A valós rezgésterhelés értékelésekor célszerűbb lenne kevesebb ismétléssel, de több gépkezelővel elvégezni a rezgésméréseket.
- A kézi adapterrel végzett rezgésmérések jelentős eltérése miatt, amely az adapter mozgásából eredhet, a gyorsulásérzékelő fix rögzítése a kertészeti kisgépek fogantyúján feltehetőleg javítja az ismételhetőséget.
- Az általam vizsgált kisgépek esetében legalább két domináns rezgésirány mutatkozott, ezért kertészeti kisgépek esetében nem javaslom a szabvány által engedélyezett egyirányú mérés alapján történő rezgésterhelés számítást.

Az anti-vibrációs kesztyűk rezgésátvitelének vizsgálatára vonatkozó ISO 10819:1996 szabvánnyal kapcsolatban az alábbi észrevételeket tettem:

- A szabványos spektrumokkal elvégzett tesztek eredménye nem megbízható, amikor a kesztyűket kertészeti kisgépek szintetizált rezgésével vizsgálják. Az M és H spektrumok alul-, vagy felülértékelték a kesztyűk rezgéscsillapítását. A teszt megbízhatóságának javítása érdekében javasolható, hogy az egyes kesztyűket valós kézi gépek szintetizált spektrumával értékeljék. Ezzel lehetővé válna kisgép specifikus, például fűkaszákkal hatékony kesztyűk tervezése és minősítése.
- A kesztyűteszt során a fogantyúra gyakorolt nyomó- és szorítóerő nagysága meghatározott. Valós munkakörülmények között azonban ennél jóval nagyobb erőhatások is jelentkeznek, amely a vizsgálataim alapján szignifikánsan befolyásolják egy anti-vibrációs kesztyű rezgésátvitelét. A szabványos vizsgálat során éppen ezért a kesztyűket több nyomó és szorítóerő-kombinációval kell tesztelni.
- A szabvány nem veszi figyelembe az egyének közötti eltérés jelentőségét. A méréseim azonban igazolták, hogy az egyének közötti különbségeknek van a legmeghatározóbb szerepük egy kesztyű rezgéscsillapítására. A teszt megbízhatósága javítható, ha a szabványos 3 tesztszemély helyett több személlyel végzett vizsgálatok alapján minősítik a kesztyűket.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

William Hazlitt angol író szerint 'Minden mozgásban van. Minden áramlik. Minden rezeg.' A rezgések által közvetített energia nem csak a gépekre, szerkezetekre veszélyes, de az emberi szervezetre is.

A motoros gépek használata megkönnyíti a kertészeti, agrár és erdészeti munkák elvégzését. Az általuk keltett káros rezgés azonban átadódik az eszközzel kontaktusban lévő kézre és azon keresztül az emberi testbe és egészségügyi elváltozást, ún. kéz-kar vibrációs szindróma kialakulásához vezet.

A doktori kutatásom során első ízben végeztem átfogó vizsgálatokat kertészetben alkalmazott kézi motoros szerszámok rezgésterhelés-jellemzőinek, így például az amplitúdónak vagy a domináns frekvenciának a meghatározására. Mivel csak Magyarországon több tízezer ember dolgozik nap, mint nap ilyen eszközökkel, a kisgépek keltette kézre ható rezgés értékelése kiemelt jelentőséggel bír. Ennek ellenére e területen tudományos igényű vizsgálatra eddig csak néhány esetben került sor és az is láncfűrészekre korlátozódott.

Négy éves méréssorozat alatt 18 eszköz kézre ható rezgésjellemzőit rögzítettem üzemi körülmények között, a vonatkozó szabványokkal összhangban, ami közel 2800 rezgésmérési eredményt és annak feldolgozását jelentette. A vizsgálatok során nem csak a három gépcsoportba sorolt kézi eszköz által keltett kéz-kar rezgés karakterisztikáját sikerült feltárnom, hanem több, a kézre ható rezgés értékelésére vonatkozó szabvánnyal kapcsolatban felmerült kérdésre is válaszoltam.

A célkitűzésemnek megfelelően több olyan tényezőt is megvizsgáltam, amely hipotézisem szerint befolyásolja egy eszköz kézre ható rezgésterhelését. Fűkaszákat vizsgálva bemutattam, hogy az üzemóra szám növekedésével nő egy eszköz rezgésterhelése. A 3 éven át tartó mérési eredményeim alapján regressziós modellt dolgoztam ki az összefüggés bemutatására. Statisztikai módszerekkel alátámasztva azt is igazoltam, hogy az eszköz kézben tartásának módja szignifikánsan növelheti a kézre ható rezgés mértékét.

Mivel a kézre ható rezgés értékelésére vonatkozó ISO 5349:2001 szabvány nem ad pontos útmutatót a rezgésmérés időtartamát illetően, ezért kísérleti úton meghatároztam a doktori kutatás során alkalmazott vizsgálati időtartamot. Mérésekkel igazoltam, hogy a használt gépeken, valós üzemi körülmények között vizsgált kézre ható rezgésterhelés

eltérhet a gyártó által új gépekre meghatározott rezgés kibocsátástól. Ezen jelenség lehetséges okait is meghatároztam.

Az angliai Southampton Egyetem Humán Tényezők Laboratóriumában anti-vibrációs kesztyűk hatékonyságát vizsgáltam az ISO 10819 szabvánnyal összhangban. A hipotézisemnek megfelelően 4 tényező hatását elemeztem 4 kesztyű rezgésátvitelére. Ezek a géprezgés-kesztyű spektrumának eltérése, a rezgés erőssége, a fogantyúra gyakorolt nyomóerő és az egyéni tényező hatása. A mérésorozat elvégzéséhez saját programot írtam - magyarországi géprezgés-vizsgálatok eredményeit felhasználva-, amely alapján 1250 kesztyűtesztet végeztem el összesen közel 50 résztvevővel.

Elsőként vizsgáltam és igazoltam, hogy az anti-vibrációs kesztyűk hatékonyságát a szabványos spektrumokkal végzett mérések alul-vagy felülértékelik, amikor a kesztyűket valós kertészeti gépek szintetizált rezgésével vizsgálják. Az eltérést feltehetőleg a szabványos és valós kisgépek szintetizált spektrumának eltérése eredményezte. A kisgépek rezgésvizsgálatai során megállapítottam, hogy azok rezgése főként 200 Hz alatt domináns, a vizsgált anti-vibrációs kesztyűk azonban általában éppen 200 Hz felett voltak hatékonyak. Ebből az következhet, hogy a kesztyűk kertészeti kisgépek való alkalmazása során nem feltétlenül nyújtották a szabványos méréssel megállapított rezgéscsillapítást.

Mivel a kertészeti kisgépek keltette rezgések amplitúdója magasabb lehet, mint a szabványos tesztben leírtak, illetve a fogantyúra gyakorolt nyomóerő is eltérhet attól, ezért elsőként végeztem átfogó vizsgálatot ezen két tényező rezgésátvitelt befolyásoló hatásával kapcsolatban. Azt találtam, hogy a kesztyűk rezgéscsillapítása gyakorlati szempontból független a rezgés erősségétől. A kéz által kifejtett nyomóerő azonban, feltehetően a kesztyűk viszko-elasztikus tulajdonságainak megváltoztatásán keresztül, szignifikánsan befolyásolta a rezgésátvitelt.

A vizsgálatok során a legfontosabb befolyásoló tényezőnek az egyének közötti eltérés mutatkozott. Ez azt jelenti, hogy egy kesztyű hatékonysága elsősorban viselőjének fizikai tulajdonságaitól, például kézméret, karhossz, a kéz szövetszerkezete, stb. függ. Korrelációs együttható számításával próbáltam igazolni, hogy a nagyobb kézméret esetén, a rezgő felülettel érintkező nagyobb felület miatt, több rezgés adódik át az eszköztől a kézre. Az elemzés azonban nem mutatott ki összefüggést a két tényező között.

A doktori kutatás során elvégzett mérések eredményei és tapasztalatai alapján több javaslatot tettem mind a kertészeti kisgépek kézre ható rezgésének, mind az anti-vibrációs kesztyűk rezgésátvitelének értékelésére vonatkozó szabványok megbízhatóságának javítására.

SUMMARY

A quotation of English writer William Hazlitt states 'Everything is in motion. Everything flows. Everything is vibrating.' The energy transported by vibration has a negative impact not only on structures or machines, but on human health.

Tools equipped with engines unburden the work in the fields of horticulture, agriculture and forestry. However the generated vibration might be transferred through the hand in contact with the vibrating surface to the human body and as a result could affect human health in the form of hand-arm vibration syndrome.

My PhD research was the first systematic research on the vibration characteristics, i.e. the amplitude or dominant vibration frequency, of small horticultural machines. Since thousands and thousands are using such tools in an every day manner, it was very important to evaluate the hand-arm vibration generated by these small tools.

During the four year research period, I measured the hand-arm vibration of 18 tools in real working conditions according to the referred standards. I got almost 2800 vibration measurement results and completed assessments. During the investigation I not only managed to summarize the hand-arm vibration characteristics generated by these tools, but answered some of the puzzling questions about the hand-arm vibration evaluation.

According to the aim of the project, I investigated several factors that might affect the hand-arm vibration of a tool. Based on my measurement results collected in a 3 year period, I created a regression model that shows the influence of the usage time on the hand-arm vibration of a brush cutter. Using statistical tools, I showed that the holding position of a machine has a significant effect on its vibration transmitted to the hand.

Since the ISO 5349:2001 standard of the measurement and evaluation of human exposure to hand-arm vibration does not specify the duration of the vibration measurement, through experiments I defined the measurement time that was used during the investigation. I showed that the hand-arm vibration generated by a used tool in real working conditions can be different than was expected according to the data provided by the manufacturers for a new tool. I found possible explanations for this phenomenon.

I investigated the vibration reduction performance of anti-vibration gloves according to ISO 10819:1996 at the University of Southampton Human Factors Research Unit laboratory. The effect of four factors on glove transmissibility was investigated using four anti-vibration gloves. These were the following: glove-spectrum mismatch, the magnitude of vibration, the push force applied on the tool handle and the inter-subject variability. In

order to run the measurements I wrote my own computer program that contained the results of the measurements taken in Hungary and completed 1250 glove tests with almost 50 subjects.

I investigated and showed for the first time that the standard spectra under- or overestimate the vibration reduction of a glove when it is tested with the synthesized spectra of small horticultural machines. This could be the result of the difference between the standard spectra and the synthesized tool spectra. I showed previously that the hand-held horticultural tools have a dominant vibration at the lower (< 200 Hz) frequency range while the anti-vibration gloves showed considerable vibration reduction only above this frequency. As a result, the examined gloves did not show the expected vibration reduction in many cases when they were used with the horticultural tools.

Because the vibration emission of the small tools - and moreover the applied hand force - can be greater than the defined level in the standard, I systematically investigated the effect of these factors on the vibration reduction performance of a glove. It was found that the glove is relatively insensitive to the vibration magnitude. In contrast, the push force applied on the tool handle has a great effect on the transmissibility. It is speculated that visco-elastic properties of the glove might change with the push force.

During the measurements, the greatest influence was found to be the inter-subject variability. This means, that vibration reduction performance of a glove mainly depends on the anthropometrics of the subject (i.e. hand size, hand length, hand tissues). I investigated the relationship between the hand size and the transmissibility, but no correlation was found.

Based on the results and observations of several measurements I proposed a few suggestions for the revision of the standards of the evaluation of hand-arm vibration and the measurement of glove transmissibility.

M1. IRODALOMJEGYZÉK

- 15/1989.(X.8) MéM rendelet az erdészeti biztonsági szabályzat kiadásáról
- 2002/44/EK (2002): AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2002/44/EK IRÁNYELVE (2002. június 25.) a munkavállalók fizikai tényezők (vibráció) hatásából keletkező kockázatoknak való expozíciójára vonatkozó egészségügyi és biztonsági minimumkövetelményekről. Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 177/13
- 2006/42/EK (2006): AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2006/42/EK IRÁNYELVE (2006. május 17.) a gépekről és a 95/16/EK irányelv módosításáról (átdolgozás). Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 157/24
- 22/2005. (VI. 24.) EüM rendelet a rezgésexpozíciónak kitett munkavállalókra vonatkozó minimális egészségi és munkabiztonsági követelményekről
- 33/1998.(VI.24) NM rendelet a munkaköri, szakmai illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről
- Aatola S. (1989): Transmission of vibration to the wrist and comparison of frequency response function estimators. *Journal of Sound and Vibration*, 131(3): 497-507.p.
- Aldien Y., Marcotte P., Rakheja S., Boileau P.E. (2006): Influence of hand forces and handle size on power absorption of the human hand–arm exposed to z_h -axis vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 290 (3–5):1015–1039. p.
- Antonova K.P. (1969): Specific influence of low environmental temperatures on the effects of intermittent local vibration. *Gigiena Truda i Professional'nye Zabolevanija*, 14(2):12-15. p.
- Besa A.J., Valero F.J., Suner J.L., Carballera J. (2007): Characterisation of the mechanical impedance of the human hand-arm system: The influence of vibration direction, hand-arm posture and muscle tension. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37: 225-231. p.
- Boileau P.É., Boutin J., Rakheja S., Dong R.G. (2002): Critical evaluation of a laboratory test procedure for measuring the vibration transmissibility of gloves. In: *Proceeding of the 37th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration*, Loughborough University, UK, 106-117. p.
- Bovenzi M. (1994): Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stone-carvers. Italian Study Group on Physical Hazards in the Stone Industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 51: 603–611. p.

- Bovenzi M., Franzinelli A., Mancini R., Cannava M.G., Mairoano M., Ceccarelli F. (1996): Exposure-response relationship for vibration-induced white finger among forestry workers. *Central European Journal of Public Health*, 4(1):69-72. p.
- Bovenzi M. (1998a): Exposure-response relationship in the hand-arm vibration syndrome: an overview of current epidemiology research. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 71 (8): 509–519. p.
- Bovenzi M. (1998b): Vibration-induced white finger and cold response of digital arterial vessels in occupational groups with various patterns of exposure to hand-transmitted vibration. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 24(2):138-144. p.
- Bovenzi M. (2008): A follow up study of vascular disorders in vibration-exposed forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81:401-408. p.
- Bovenzi M., Alessandrini B., Mancini R., Cannava M.G., Centi L. (1998): A prospective study of the cold response of digital vessels in forestry workers exposed to saw vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 71: 493-498. p.
- Bovenzi M., Franzinelli A., Strambi F. (1988): Prevalence of vibration-induced white finger and assessment of vibration exposure among travertine workers in Italy. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 61 (1–2): 25–34. p.
- Brammer A.J., Taylor W. (1982): Vibration effects on the hand and arm in industry. New York: Wiley-Interscience Publication.
- Brennan M. (2008): Active vibration isolation. Lecture notes. University of Southampton, UK: Short Course on Active Control of Sound and Vibration.
- Brown A.P. (1990): The effects of anti-vibration gloves on vibration induced disorders: a case study. *Journal of Hand Therapy*, 3:94–100. p.
- Brüel & Kjær (1989): Human vibration. Brüel & Kjær booklet. Denmark: K.Larsen & Søn
- Burström L. (1994): The influence of individual factors on the absorption of vibration energy in the hand and arm. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 14:115-122. p.
- Burström L. (1996): The influence of individual factors on the absorption of the vibration energy in the hand and arm. *Central European Journal of Public Health*, 4(1):50-52.p.
- Burström, L. (1997): The influence of biodynamic factors on the mechanical impedance of the hand and arm. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 69:437-446. p.

- Calvo A., and Deboli R. (2004): Current normative and draft proposals to compare noise and vibration data in chainsaws: A study to test the results repeatability. In: *Proceedings CD-Rom International Conference on "Engineering the future"*, AgEng, Leuven, Belgium 12-16 September 2004, Session 29, paper 292, 1-8. p.
- CEN/TR 15350:2006: Mechanical vibration – Guideline for the assesment of exposure to hand-transmitted vibration using available information including that provided by manufacturers of machinery. Published Document. UK: BSI, British Standards.
- Cherian T., Rakheja S., Bhat R.B. (1996): An analytical investigation of an energy flow divider to attenuate hand- transmitted vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17:455-467. p.
- Dong H.J., Dong R.G., Rakheja S., Welcome D.E., McDowell T.W., Wu J.Z. (2008): A method for analyzing absorbed power distribution in the hand and arm substructures when operating vibrating tools. *Journal of Sound and Vibration*, 311:1286-1304. p.
- Dong R.G., McDowell T.W., Welcome D.E., Barkley J., Warren C., Washington B. (2004): Effects of hand-tool coupling conditions on the isolation effectiveness of air bladder anti-vibration gloves. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 23 (4): 231-248. p.
- Dong R.G., Welcome D.E., McDowell T.W., Rakheja S. (2005b): Estimation of the transmissibility of anti-vibration gloves when used with specific tools. *Noise and Vibration Worldwide*, 36 (9): 11-20. p.
- Dong R.G., Wu J.Z, McDowell T.W, Welcome D.E., Schopper A.V. (2005c): Distribution of mechanical impedance at the fingers and the palm of the human hand. *Journal of Biomechanical Engineering*, 38 (5):1165–1175. p.
- Dong R.G., McDowell T.W., Welcome D.E., Smutz W.P. (2005d): Correlations between biodynamic characteristics of human hand-arm system and the isolation effectiveness of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35:205-216. p.
- Dong R.G., McDowell T.W., Welcome D.E., Rakheja S., Caporali S.A., Schopper A.W. (2002a): Effectiveness of a transfer function method for evaluating vibration isolation performance of gloves when used with chipping hammers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 21 (3), 141-156. p.
- Dong R.G., Rakheja S., Smutz W.P., Schopper A.W., Welcome D.E., Wu J.Z. (2002b): Effectiveness of a new method (TEAT) to assess vibration transmissibility of gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30:33-48. p.

- Dong R.G., McDowell T.W., Welcome D.E., Warren C., Wu J.Z., Rakheja S. (2009): Analysis of anti-vibration gloves mechanism and evaluation methods. *Journal of Sound and Vibration*, 321, 435-453. p.
- Dong R.G., Rakheja S., McDowell T.W., Welcome D.E., Wu J.Z., Warren C., Barkley J., Washington B., Schopper A.W. (2005a): A method for assessing the effectiveness of anti-vibration gloves using biodynamic responses of the hand-arm system. *Journal of Sound and Vibration*, 282: 1101-1118. p.
- Dupuis H. és Riedel S. (1995): Experience on the reversibility of the vibration-induced white finger disease. *Central European Journal of Public Health*, 3:19-21. p.
- Edwards D.J. and Holt G.D. (2006): Hand-arm vibration exposure from construction tools: results of a field study. *Construction Management and Economics*, 24(2):209-217. p.
- Ekenvall L. and Lindblad L.E. (1989): Effect of tobacco use on vibration white finger disease. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 31(1):13-16. p.
- EN 12096:1997: Mechanical vibration – Declaration and verification of vibration emission values. European Committee for Standardization, Brussels.
- Eurofound (2005): Fourth European Working Conditions Survey. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Forrás: <http://www.eurofound.europa.eu/publications/htmlfiles/ef0698.htm>
- Fahy F., Walker J. (eds.) (1998): Fundamentals of Noise and Vibration. London: Spon Press.
- Färkkilä M., Aatola S., Strack J., Korhonen O. and Pyykkö I. (1986): Hand-grip force in lumberjacks. Two-year follow-up. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 58: 203-208. p.
- Färkkilä M., Pyykkö I., Jäntti V., Aatola S., Strack J., Korhonen O. (1988): Forestry workers exposed to vibration: a neurological study. *British Journal of Industrial Medicine*, 45: 188-192. p.
- Färkkilä M., Pyykkö I., Korhonen O., Starck J. (1979): Hand grip forces during chain saw operation and vibration white finger in lumberjacks. *British Journal of Industrial Medicine*, 36: 336–341. p.
- Färkkilä M., Pyykkö I., Korhonen O., Strack J. (1980): Vibration-induced decrease in the muscle force in lumberjacks. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 43: 1-9. p.

- Futatsuka M. (1984): Epidemiological studies of vibration disease due to brush saw operation. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 54: 251-260. p.
- Futatsuka M. és Ueno Z. (1986): A follow-up study of vibration induced white finger due to chain-saw operation. *Scandinavian Journal of Work, Environmental and Health*, 12: 304-306. p.
- Futatsuka M., Takamatsu M., Nomura S. (1969): Pathophysiological studies on vibration hazards due to chain saw. *16th International Congress of Occupational Health*, Tokyo, 151-153. p.
- Futatsuka M., Takamatsu M., Sakurai T., Maeda K., Esaki H., Hirosawa I., Wakaba K. (1980): Vibration hazards in forestry workers of the chain saw operators of a determined areas in Japan. *The Journal of Science of Labour*, 56 (Part II.): 27-48. p.
- Futatsuka M., Yasutake N., Sakurai T., Matsumoto T. (1985): Comparative study of vibration disease among operators of vibrating tools by factor analysis. *British Journal of Industrial Medicine*, 42:260-266. p.
- Gemne G., Lundström R., Hansson J.E. (1993): Disorders induced by work with handle-hand vibrating tools. A review of current knowledge for criteria documentation. *Arbete och Hälsa [Work & Health]*, vol. 6. National Institute for Working Life, Stockholm.
- Gemne G. (1997): Diagnostics of hand–arm system disorders in workers who use vibrating tools. *Occupational and Environmental Medicine*, 54: 90–95. p.
- Griffin M.J. (1982a): The effects of vibration on health. *Memorandum No.632*. Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton.
- Griffin M.J. (1982b): Hand-arm vibration standards and dose-effect relationships. In: Brammer A.J. and Taylor W. (eds): *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. New York: Wiley
- Griffin M.J. (1990). *Handbook of human vibration*. London: Elsevier Academic Press
- Griffin M.J. (1997): Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 54(2): 73-89. p.
- Griffin M.J. (1998): Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational Environmental Medicine*, 55: 340–348. p.
- Griffin M.J. (2008a): Measurement, evaluation, and assessment of peripheral neurological disorders caused by hand-transmitted vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81:559-573. p.

- Griffin M.J. (2008b): HTV measurement evaluation and assessment. Human responses to vibration course notes. Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, 3-7-March 2008.
- Griffin M.J., Welsh A.J.L., Bovenzi M. (2006): Acute response of finger circulation to force and vibration applied to the palm of the hand. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 32(5):383-391. p.
- Griffin M.J., Bovenzi M., Nelson C.M. (2003): Dose-response patterns for vibration-induced white finger. *Occupational and Environmental Medicine*, 60:16-26. p.
- Griffin M.J., Macfarlane C.R. and Norman C.D. (1982): The transmission of vibration to the hand and the influence of gloves. In: A.J. Brammer and W. Taylor (eds): *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. New York: John Wiley and Sons, 103-116. p.
- Gurram R., Rakheja S., Gouw G.J. (1994): Vibration transmission characteristics of the human hand-arm and gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13:217-234. p.
- Gurram R., Rakheja S., Gouw G.J. (1995): Mechanical impedance of the human hand-arm system subject to sinusoidal and stochastic excitations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 16:135-145. p.
- HAVTEC OPERC (2007): Hand-arm vibration test centre. www.operc.com
- Hewitt S. (1997): An inter-laboratory evaluation of the reproducibility of the ISO 10819 test for anti-vibration gloves. In: *Proceedings of the UK Informal Group Meeting on Human Response to Vibrations*, Southampton, UK.
- Hewitt S. (1998): Assessing the performance of anti-vibration gloves - a possible alternative to ISO 10819,1996. *Annals of Occupational Hygiene*, 42 (4):245-252. p.
- Hewitt S. (2002): Round robin testing of antivibration gloves toward a revision of ISO 10819:1996. In: *Proceeding of the 37th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration*, Loughborough University, UK, 118-129. p.
- Horváth B., Czupy I., Csalló R., Gólya J., Major T. (2005): Motor- és tisztítófűrészek. Budapest: FVM Képzési és Szaktanácsadási Intézet
- Horváth F., Kákossy T., Villányi G. (1969): Motorfűrésszel dolgozók kéztőcsontjainak strukturális elváltozásairól. *Magyar Radiológia*, 21: 257-266. p.
- HSE (2005): Control the risk from hand-arm vibration. United Kingdom: Health and Safety Institute. Forrás: www.hse.gov.uk/pubns/indg175.pdf

- ISO 10819:1996: Mechanical vibration and shock—hand-arm vibration—method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 13753:1998: Mechanical Vibration and Shock - Hand-Arm Vibration - Method for Measuring the Vibration Transmissibility of Resilient Materials when Loaded by the Hand-Arm System. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 22867:2008: Vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine – Vibration at the handles. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 20643:2008: Mechanical vibration – Hand-held and hand-guided machinery – Principles for evaluation of vibration emission. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 5349:2001: Mechanical Vibration. Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 8041:2005: Human response to vibration - Measuring instrumentation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 8662-1:1988: Hand-held power tools – Measurement of vibrations at the handle – Part 1: General. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- Jetzer T., Haydon P., Reynolds D. (2003): Effective intervention with ergonomics, antivibration gloves, and medical surveillance to minimize hand–arm vibration hazards in the workplace. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 45: 1312-1317. p.
- Kákósy T. (1973): A motorfűrészkezelők vibrációs ártalma. *Az Erdő*, 22(7):301-304. p.
- Kákósy T. (2004): Vibráció okozta ártalmak. 1387-1395.p. In: Juhász F. (Szerk.): *Irányelvek a funkcióképesség, a fogyatékoság és a megváltozott munkaképesség véleményezéséhez*. Budapest: Egységügy, Szociális és Családügyi Minisztérium – Országos Egységbiztosítási Pénztár. 1395 p.
- Kaulbars U., Concettioni E. (2007): Industrial trials of a system for measurement of coupling forces. In: *11th International Conference on Hand-Arm Vibration*. 3-7 June 2007 Bologna, Italy, 481-488. p.

- Kauppinen T., Hanhela R., Heikkilä P., Kasvio A., Lehtinen S., Lindström K., Toikkanen J., Tossavainen A. (2006): Changes in work and working conditions in 1997–2006. Finnish Institute of Occupational Health. Forrás:
<http://www.ttl.fi/Internet/English/Information/Electronic+publications/>
- Książek M.A., Tarnowski J. (2001): Influence of hand pushing on handle on displacements and accelerations of operator's hand measured by a non-contact method. In: *36th United Kingdom Group Conference on Human Response to Vibration*, 12-14 September 2001 Farnborough, UK, 333-344. p.
- Kivekäs J., Riihimäki H., Husman K., et al. (1994): Seven year follow- up of white finger symptoms and radiographic wrist findings in lumberjacks and referents. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 20:101–106. p.
- Koskimies K., Pyykkö I., Starck J. and Inaba, R. (1992): Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 64(4): 251–256. p.
- Koton J., Kowalski P., Szopa J. (1998): An attempt to construct anti-vibration gloves on the basis of information on the vibration transmissibility of materials. In: *Proceedings of the Eighth International Conference on Hand–ArmVibration*, Umea, Sweden, 329-335. p.
- KSH (2008): Magyarország mezőgazdasága (Gazdaságszerkezeti összeírás). Központi Statisztikai Hivatal. Forrás:
<http://portal.ksh.hu/pls/ksh/docs/hun/xftp/idoszaki/gso/gso07.pdf>
- Kumlin T., Wiikeri M., Sumari P. (1973): Radiological changes in carpal and metacarpal bones and phalanges caused by chain saw vibration. *British Journal of Industrial Medicine*, 30: 71-73. p.
- Kylin B. and Lindström I.M. (1970): Vibration disorders in forestry workers. *Report No. MF103/70*, National Institute of Occupational Health, Sweden
- Laitinen J., Puranen J. and Vuorinen, P. (1974): Vibration syndrome in lumbermen (working with chain saw). *Journal of Occupational Medicine* 16: 552-557. p.
- Laroche, H.P. (1976): Traumatic vasospastic disease in chain saw operators. *Canadian Medical Association Journal*, 115:1217-1221. p.
- Leake J. (1918): Health hazards from the use of the air hammer in cutting indiana limestone. *Bulletin U.S. Bureau of Labor Statistics*, 236: 100–113. p.
- Loriga G. (1911): Il lavoro con i martelli pneumatici. *Bolletino dell' Ispettorato del Lavoro*, 2: 35–60. p.

- Mallick Z. (2008): Optimization of operating parameters for a back-pack type grass trimmer. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38:101-110. p.
- Mallick Z. (2009): Optimization of the operating parameters of a grass trimming machine. IN PRESS: *Applied Ergonomics*, doi:10.1016/j.apergo.2009.07.010
- Matoba T., Kusumoto H., Mizuki Y., Kuwahara H., Inanaga K., Takamatsu M. (1977): Clinical features and laboratory findings of vibration disease: a review of 300 cases. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 123: 57-65. p.
- Matsumoto K., Itoh N., Kasamatsu T., Iwata H. (1977): A study on subjective symptoms based on total operating time of chain saw. *Japanese Journal of Industrial Health*, 11:9-19. p.
- Matsumoto K., Itoh N., Kasamatsu T., Iwata H. (1975): Pain threshold in workers with vibration-induced white-finger. *Journal of Japanese Society for Hygiene*, 30: 430-435. p.
- Matsumoto T., Yamada S., Harada N. (1979): A comparative study of vibration hazards among operators of vibrating tools in certain industries. *Arh.hig.rada toksiko,l* 30: 701-707. p.
- Miyakita T., Miura H., Futatsuka M. (1987): Noise-induced hearing loss in relation to vibration-induced white finger in chain-saw workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 13: 32-36. p.
- Miyashita K., Shiomi S., Itoh I., Kasamatsu T., and Iwata H. (1982): Development of the vibration syndrome among chain sawyers in relation to their total operating time. In: Brammer A.J. and Taylor W. (eds): *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. New York: Wiley.
- Miyashita K., Shiomi S., Itoh I., Kasamatsu T., and Iwata H. (1983): Epidemiological study of vibration syndrome in response to total hand-tool operating time. *British Journal of Industrial Medicine*, 40:92-98. p.
- Muralidhar A., Bishu R.R., Hallbeck M.S. (1999): The development and evaluation of an ergonomic glove. *Applied Ergonomics*, 30:555–563. p.
- Necking L.E., Lundborg G., Lundström R., Thornell L.E., Fridén J. (2004): Hand muscle pathology after long-term vibration exposure. *Journal of Hand Surgery (British and European Volume)*, 29B(5):431-437. p.
- Neely G. and Burström L. (2006): Gender differences in subjective responses to hand–arm vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36 (2):135-140. p.

- Neitzel R. and Yost M. (2002): Task-Based assessment of occupational vibration and noise exposures in forestry workers. *AIHA Journal*, 63(5): 617-627. p.
- O'Boyle M.J. (2001): The Effect of Hand and Arm Volume on the Vibration Transmissibility of Gloves According to Current Standards. In: *Proceedings of the 36th UK Conference on Human Response to Vibration*, 359-367. p.
- O'Boyle M.J. (2003): The effect of push force on vibration transmissibility to the hand of anti-vibration materials. In: *38th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration*, 17-19 September 2003 Institute of Naval Medicine, Gosport, UK, 473-478. p.
- O'Boyle M.J. (2005): Effect of vibration magnitude on glove material transmissibility. In: *40th United Kingdom Conference on Human Responses to Vibration*, 13-15 September 2005 Health and Safety Executive, Liverpool, UK, 7-12. p.
- O'Boyle M.J., Griffin M.J. (2004): Inter-subject variability in the measurement of the vibration transmissibility of gloves according to current standards. In: *9th International Conference on hand-arm vibration*, 5-8 June 2001 Institut National de Recherche et de Securite, Nancy, France, 8pp.
- Ogasawara C., Sakakibara H., Kondo T., Miyao M., Yamada S., Toyoshima H. (1997): Longitudinal study on factors related to the course of vibration- induced white finger. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 69:180-184. p.
- OMMF (2008): Tájékoztató jelentés a Kormány részére a nemzetgazdaság 2007. évi munkavédelmi helyzetéről. Budapest: Országos Munkavédelmi és Munkáügyi Főfelülelőség. Forrás: http://www.ommf.gov.hu/index.php?akt_menu=237
- OSHA (2008): Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review. Belgium: European Agency for Safety and Health at Work. Forrás: http://osha.europa.eu/en/publications/reports/8108322_vibration_exposure/view
- Pääkkönen R. (2005): Prevention of vibration. Finland: Finnsih Institute. Forrás: <http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/543B890E-9B4F-42CE-9DC1-E9CEF5FA623F/0/P%C3%A4%C3%A4kk%C3%B6nen091205B.pdf>
- Paddan G.S. (2001): Effect of measurement period on the testing of antivibration gloves. In: *36th United Kingdom Group Conference on Human Responses to Vibration*, 12-14 September 2001 Centre for Human Sciences, Qinetiq, Farnborough, UK, 345-357. p.
- Paddan G.S., Griffin M.J. (1997): Individual variability in the transmission of vibration through gloves. In: S.A. Robinson (ed.): *Contemporary Ergonomics*. London: Taylor Francis, 320-325. p.

- Paddan G.S., Griffin M.J. (2001): Measurement of glove and hand dynamics using knuckle vibration. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Hand-Arm Vibration*, Section 15(6), Nancy, France.
- Palmer K.T., Griffin M.J., Bendall H., Pannett B and Coggon D. (2000): Prevalence and pattern of occupational exposure to hand transmitted vibration in Great Britain: findings from a national survey. *Occupational and Environmental Medicine*, 57: 218-228. p.
- Palmer K.T., Griffin M.J., Syddall H., Pannett B., Cooper C., Coggon C. (2001): Risk of Hand-arm vibration syndrome according to occupation and sources of exposure to hand-transmitted vibration: A national survey. *American Journal of Industrial Medicine*, 39:389-396. p.
- PD 12349 (1997): Published Document – Mechanical vibration - Guide to the health effects of vibration on the human body. United Kingdom: British Standards Institution.
- Pinto I., Stacchini N., Bovenzi M., Paddan G.S. and Griffin M.J. (2001): Protection effectiveness of anti-vibration gloves: field evaluation and laboratory performance assessment. In: *9th International Conference on Hand-Arm Vibration*, 5-8 June, Nancy, France, 2 pp.
- Pyykkö I. (1974): The prevalence and symptoms of traumatic vasospastic disease among lumberjacks in Finland. A field study. *Scandinavian Journal of Work, Environment, Health* 11: 118-131. p.
- Pyykkö I., Farkilla M., Toivanen J., Korhonen O., Hyvarinen J. (1976): Transmission of vibration in the hand-arm system with special reference to changes in compression force and acceleration. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 2: 87–95. p.
- Pyykkö I., Korhonen O., et al. (1981): A longitudinal study of vibration syndrome among Finnish forest workers. In: *Proceedings of the 3rd International Symposium on Hand-Arm-Vibration*, 18-20 May, Ottawa, Canada
- Pyykkö I., Kolari P., Färkkilä M., Strack J., Korhonen O., Jäntti V. (1986a): Finger peripheral resistance during local cold provocation in vasospastic disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 12: 395-399. p.
- Pyykkö I., Korhonen O., Färkkilä M., Starck J., Aatola S., Jantti V. (1986b): Vibration syndrome among Finnish forest workers, a follow-up from 1972 to 1983. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 12: 307–312. p.

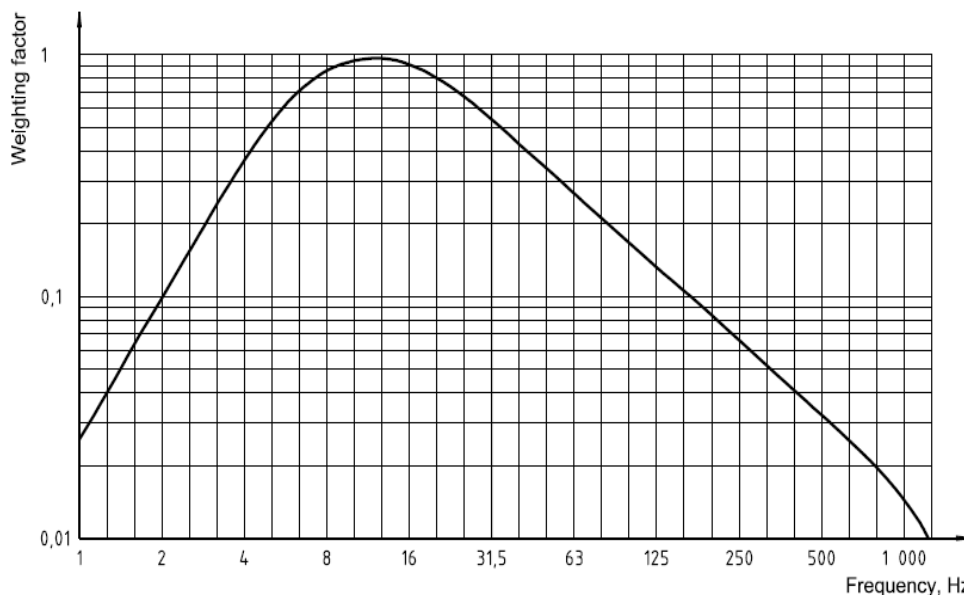
- Pyykkö I., Sairanen E., Korhonen O., Färkkilä M., Hyvarinen J. (1978): A decrease in the prevalence and severity of vibration-induced white finger among lumberjacks in Finland. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 4:246-254. p.
- Radwin R.G., Armstrong T.J., Vanbergeijk E. (1998): Hand-Arm Vibration and Work-Related Disorders of the Upper Limb. In: P.L. Pelmeier; D.E.Wasserman (eds.): *Hand-Arm Vibration: A Comprehensive Guide for Occupational Health Professionals*, 127–157. p. OEM Press, Beverly Farms, MA .
- Rafalski H., Bernacki K. and Switoniak T. (1977): The diagnostics and epidemiology of vibration disease and hearing impairment in motor sawyers. In: Proceedings of the International Occupational Hand-Arm Vibration Conference, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati. *DHEW (NIOSH) Publication No. 77-170*, 84-88. p.
- Rakheja S., Dong R.G., Welcome D.E., Schopper A.W. (2002): Estimation of tool-specific isolation performance of anti-vibration gloves. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(2): 71-87. p.
- Reynolds D.D., Angevine E.N. (1977): Hand-arm vibration, Part II: Vibration transmission characteristics of the hand and arm. *Journal of Sound and Vibration*, 51(2): 255-265.
- Reynolds D.D., Standlee K.G, Angevine E.N. (1977): Hand-arm vibration, Part III: subjective response characteristics of individuals to hand-induced vibration. *Journal of Sound and Vibration*, 51:267-82. p.
- Reynolds D.D., Keith R.H. (1977): Hand-arm vibration, part I: analytical model of the vibration response characteristics of the hand. *Journal of Sound and Vibration*, 51(2), 237-253. p.
- Rimell A.N., Notini L., Mansfield N.J, Edwards D.J. (2008): Variation between manufacturers' declared vibration emission values and those measured under simulated workplace conditions for a range of hand-held power tools typically found in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38:661–675. p.
- Rohrbach D. (2009): The BIBB/IAB- and BIBB/BAuA Surveys of the Working Population on Qualification and Working Conditions in Germany. Germany: Research Data Centre at the Federal Institute for Vocational Education and Training. Forrás: http://www.bibb.de/dokumente/pdf/BIBBBAuA2006_Datenhandbuch_1.pdf
- Saito K. (1987): Prevention of the hand-arm vibration syndrome. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health* 13: 301-304. p.

- Saito K., Kumashiro M., Niioka T., Fujimoto S., Shibano N. (1980): The recent status of vibration hazards among workers at the state forests in Hokkaido. *Japanese Journal of Industrial Health*, 22: 348-354. p.
- Shanks E. (2007): Correlation between vibration emission and vibration during real use. Nibblers and shears. *Research Report RR576*. United Kingdom: Health and Safety Laboratory
- Siegel S., Castellan N.J.Jr (1988): Nonparametric Statistics for behavioural sciences. McGraw-Hill International Editions
- Smutz, W.P., Dong, R.G., Han, B., Schopper, A.W., Welcome, D.E., Warren, C., Kashon, M.L. (2002): A method for reducing adaptor misalignment when testing gloves using ISO 10819. *Annals of Occupational Hygiene*, 46 (3), 309-315. p.
- Stewart, A.M. és Goda, D.F. (1970): Vibration syndrome. *British Journal of Industrial Medicine*, 27:19-27. p.
- Stihl (2008): Instruction manual for Stihl MS 460. Germany: Andreas Stihl AG & Co.,KG.
- Sutinen P., Toppila E., Starck J., Brammer A., Zou J., Pyykko I. (2006): Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79: 665–671. p.
- Szepesi L. (1963): A motorfűrész. Budapest:Mezőgazdasági Kiadó
- Szepesi L., Bellus G., Dobrovits A., Hajdu L., Horváth L., Madai G., Török G., Erdélyi J. (1986): Motorfűrészünk vibrációs vizsgálatának tapasztalatai. Budapest: Erdészeti Tudományos Intézet
- Szepesi L., Dobrovits A; Horváth L., Török G. (1988): A Solo 667 motorfűrész funkcionális vizsgálata. Budapest: Erdészeti Tudományos Intézet
- Szepesi L., Horváth L., Posta J., Dobrovits A., Finta I., Hajdu L., Török G. (1985): A Stihl 038 Aveqs motorfűrész funkcionális vizsgálata. Budapest: Erdészeti Tudományos Intézet
- Takamatsu M. (1966): Raynaud's phenomenon among workers using vibratory tools. *15th Congress International: Medicine du Travail A IV-58*: 213-216. p.
- Taylor W. (1974): The vibration syndrome. London: Academic Press
- Taylor W. and Pelmear P.L. (1976): Raynaud's phenomenon of occupational origin an epidemiological survey. *Acta Chirurgica Scandinavica Supplement*, 465: 27-33.
- Taylor W., Pearson J., Kell R.L., Keighley G.D. (1971): Vibration syndrome in Forestry Commission chain saw operators. *British Journal of Industrial Medicine*, 28: 83-89. p.

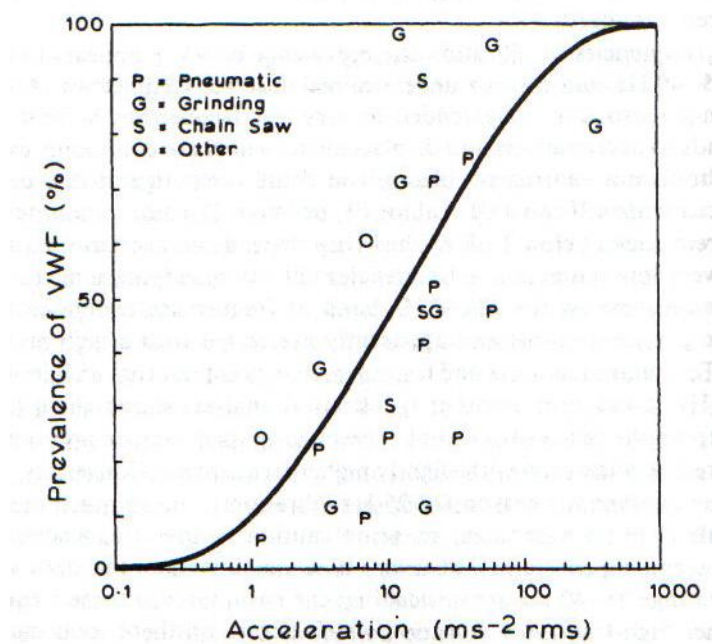
- Taylor W., Pelmear P.L. (1975): Vibration white finger in industry. London: Academic Press
- Taylor W., Pelmear P.L., Pearson J. (1974): Raynaud's phenomenon in forestry chain saw operators. In: *Proceedings of a Conference on the Medical Engineering and Legal Aspects of Hand-Arm Vibration*, University of Dundee, 12-14 July 1972 (Taylor, W., ed.), 121-139. p. London: Academic Press.
- Tudor A.H. (1996): Hand-arm vibration: Product design principles. *Journal of Safety Research*, 27(3):157-162. p.
- Vér I.L., Beranek L.L. (2006): Noise and Vibration Control Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons
- Vergara M., Sancho J.L., Rodriguez P., Gonzalez A.P. (2008): Hand-transmitted vibration in power tools: Accomplishment of standards and users' perception. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38: 652–660. p.
- VIBRISK (2007): Risks of Occupational Vibration Exposures. *Final Technical Report*. Forrás: www.vibrisk.soton.ac.uk
- VINET (2003): Databases for Vibration Machines. Forrás: www.vibration.db.umu.se
- Walz G. (2008): Zaj-és rezgésvédelem. Budapest: CompLex Kiadó
- Welcome, D., Rakheja, S., Dong, R., Wu, J.Z., Schopper, A.W. (2004): An investigation on the relationship between grip, push and contact forces applied to a tool handle. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 34, 507-518. p.
- Yamada S., Sakakibara H. (2001): Occupational disease induced by hand transmitted vibration – The relationship between characteristics of case and kind of tool. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 20(4):209-216. p.

M2. TOVÁBBI MELLÉKLETEK

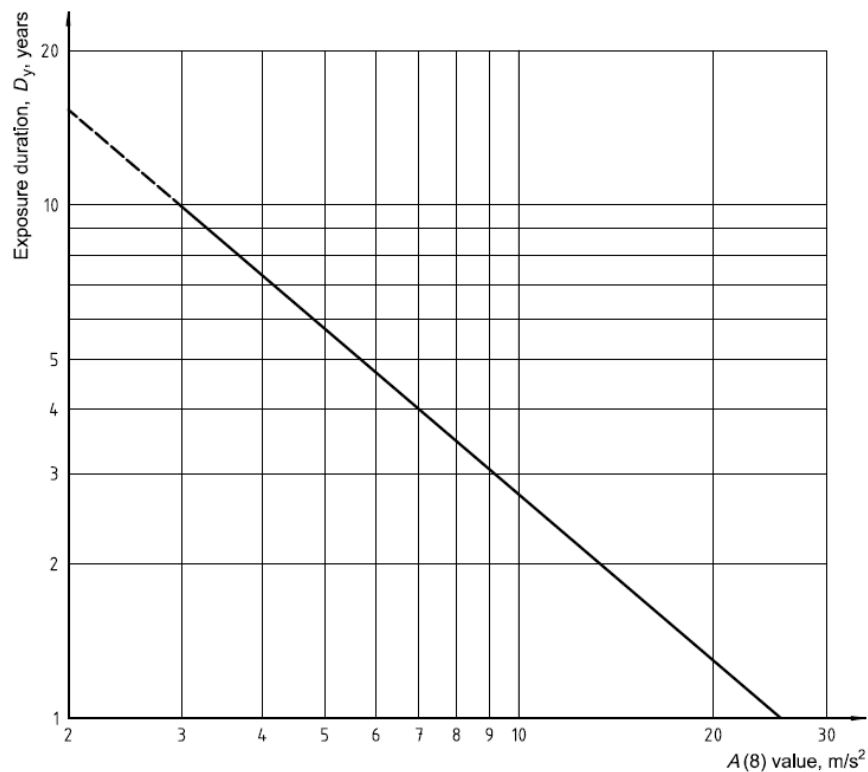
1. melléklet



M.1.(a) ábra A kéz-kar rezgés értékelésénél használt W_h súlyozósűrő sematikus ábrája (ISO 5349:2001).



M.1.(b) ábra A rezgésgyorsulás és a fehér ujj szindróma kialakulása közötti összefüggés (Griffin 1990 nyomán)



M.1.(c) ábra A napi rezgéseexpozíció ($A(8)$ value, ms^{-2}), amely az exponált személyek 10%-ánál vált ki ujjfehéredést (D_y a fehér ujj szindróma fellépését megelőző terhelési idő, év) (ISO 5349:2001).



M.1.(d) ábra Rezgésszigetelő gépelemek (acél csavarrugó- bal kép, gumirugó – jobb kép) (Walz 2008).

2. melléklet

M.2.(a) táblázat A doktori kutatásba bevont kézi eszközök fontosabb műszaki adatai.

Eszköz- csoport	Típus	doktori disszertációban használt megnevezés	löket- térfogat cm ³	teljesít- mény kW	súly kg	fordulatsz. alapjárat rpm	fordulatsz. max. rpm	zajszint LPA dB(A)	zajtjeljesít- ményszint LWA dB(A)	a_{hv} ms ⁻²		nyilvántartott/ becsült üzemóra szám óra
										jobb/első	bal/hátsó	
fűkasza	Husquarna 343 R	fűkasza 1-7	45.0	2.0	8.2	2800	9000	101	115	3.6	3.0	331-1953
	Partner T 330 Pro	fűkasza 8	32.0	0.7	5.9	3000	7000	95,6	105,7	11.8/8.7*	6.8/8.6*	123
	Stihl FS 130	fűkasza 9	36.3	1.4	5.9	2800	7500	94	106	4.5	3.7	471
	Stihl FS 350	fűkasza 10	40.2	1.6	7.3	2800	8930	98	109	2.5	2.9	kb. 450
	Stihl FS 100	fűkasza 11	31.4	1.05	5.8	2800	7500	89	100	3.0	2.6	kb. 600
fűnyíró	Robi 56+RF 465 adapter	fűnyíró 1	n.i.	2.2	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.		kb. 2250
	Al-ko Comfort 470 BRA	fűnyíró 2	190	2.5	39	-	2800	n.i.	96	4.1	3.0	380
	Solo 546	fűnyíró 3	190	2.4	28	n.i.	n.i.	80	96	<2.5		292
	Al-ko Classic 46 BR	fűnyíró 4	148	2.0	29	-	2900	n.i.	96	n.i.		kb. 600
sövényvágó	Husqvarna 123 HD60	sövényvágó 1	22.5	0.6	5.1	3000	12000	97	106	1.4/4.5*	1.5/3.8*	330
	Einhell BG EH 551	sövényvágó 2	n.i.	0.55	4.1	-	3200	82	102	3.6		kb. 360
	Ikra HT 400	sövényvágó 3	n.i.	0.4	3.8	-	4200	n.i.	n.i.	4.2		kb. 300

Megjegyzés: n.i.= műszaki leírásban nem szerepel, * = vágás közben

M.2.(b) táblázat Kertészeti kisgépek kézre ható rezgésterhelésének vizsgálati körülményei

Eszköz	Vizsgálat ideje	Vizsgálat helyszíne	Gépkezelő sorszáma
fűkasza 1	2006 május 2007 május 2009 szeptember	Budapest, Népliget	4,5,6
fűkasza 2	2006 május 2007 június 2009 szeptember	Budapest, Népliget	4,5,6
fűkasza 3	2006 június 2007 június 2009 szeptember	Budapest, Gellért-hegy	4,6,10
fűkasza 4	2006 május 2007 május 2009 október	Budapest, Városmajor	7,8,9
fűkasza 5	2006 május 2007 június 2009 szeptember	Budapest, Vérmező	7,8,15
fűkasza 6	2006 május 2007 június 2009 szeptember	Budapest, Városliget	6,9,10
fűkasza 7	2006 május 2007 május 2009 október	Budapest, Gellért-hegy	4,7,10
fűkasza 8	2007 június	Soroksár	1,11,12
fűkasza 9	2005 szeptember 2006 május	Szigetcsép	1,2,3
fűkasza 10	2005 szeptember 2006 június	Szigetcsép	1,2,3
fűkasza 11	2007 április	Soroksár	12,14,16
fűnyíró 1	2005 augusztus	Szigetcsép	1,2,17
fűnyíró 2	2006 június 2007 szeptember	Budapest, Gellért-hegy	6,10,18
fűnyíró 3	2009 október	Budapest, Kamaraerdő	1,17,18
fűnyíró 4	2007 május	Soroksár	11,13,14
sövényvágó 1	2007 június	Budapest, Vérmező	1,8,15
sövényvágó 2	2006 április	Szigetcsép	2,3,13
sövényvágó 3	2006 április	Szigetcsép	1,2,13

M.2.(c) táblázat A kertészeti kisgépeket kezelők adatai.

Gépkezelő	Kor év	Testmagasság cm	Testsúly kg	Kézméret*
1	44	182	81	9
2	31	175	78	8
3	32	179	82	8
4	46	184	86	9
5	23	173	74	8
6	27	177	83	8
7	35	183	90	10
8	28	170	72	8
9	29	179	79	9
10	40	180	78	8
11	33	178	75	8
12	32	186	81	10
13	48	182	85	9
14	53	176	83	8
15	51	184	88	9
16	47	179	71	9
17	30	185	88	10
18	28	170	68	8

* EN 420 szerint

M.2.(d) táblázat Fűkaszák gépnyilvántartásban vezetett használati ideje 2006 és 2009 között.

Eszköz	Összes használati idő 2006-ig óra	Összes használati idő 2006-2007 óra	Összes használati idő 2007-2009 óra	Összes használati Idő 2009-ig óra
fűkasza 1	463	637	853	1953
fűkasza 2	274	454	942	1670
fűkasza 3	172	302	441	915
fűkasza 4	103	228	682	1013
fűkasza 5	120	245	480	845
fűkasza 6	100	331	592	1023
fűkasza 7	163	290	376	829



M.2.(a) ábra A fogantyú a nyúlásmérővel és gyorsulásérzékelővel (bal kép) és a fogantyú kalibrálása (jobb kép) (saját felvétel).



M.2.(b) ábra A vizsgált anti-vibrációs kesztyűk fényképei (saját felvétel).

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 1 \ GENERATION OF EXCITATION 16:41 25.07.08
1 hvlab.scr : OVERLAY ;
2 helga2n.scr
3
4 \ Measure vibrator transfer function using random signal and
5 \ filter acceleration time histories with inverse, to
6 \ compensate for non-flat vibrator frequency response.
Overstrike \ Excitation= DtoA chnl 1, Platform acceleration= AtoD chnl 1.
Stamp: On \ Note: will delete and use files 1 - 17?
F1 = Help \ menu and parameter table driven
: VIBRO " VIBRO" BRUN VIBRO END-MODULE ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 2 \ GENERATION OF EXCITATION 15:22 07.14.09
1 hvlab.scr CD C:\HELGA2N
2 helga2n.scr INTEGER ofile REAL rms
3
4 2.0 := poles 31.5 := hpfc 1000.0 := lpfc 5.0 := resolution
5 5000.0 := 10 PARA 10.0 := 11 PARA
6
7 \ ofile rms hpfc lpfc ...
8 : signal := lpfc := hpfc := rms := ofile
Overstrike 32001 32009 ndel
Stamp: On 32001 RANDOM
32001 32002 LOBUTTER
F1 = Help 32002 32003 HIBUTTER
32003 STATS rms 5 CB F/ := constant
32003 ofile FILE* ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 3 \ GENERATION OF EXCITATION 12:55 07.15.09
1 hvlab.scr \ ofile ...
2 helga2n.scr : MSPEC 16.7 31.5 200.0 signal ;
3 : HSPEC 92.2 200.0 1000.0 signal ;
4 : RSPEC 31.9 31.5 1000.0 signal ;
5
6 : INSPECTRA
Overstrike 10.0 := 11 PARA
111 MSPEC 111 121 PSD 111 112 WH WEIGHT \ VIBRO to 114
Stamp: On 10.0 := 11 PARA
211 HSPEC 211 221 PSD 211 212 WH WEIGHT \ VIBRO to 214
F1 = Help 10.0 := 11 PARA
311 RSPEC 311 321 PSD 311 312 WH WEIGHT \ VIBRO to 314

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 4
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help
Line stack: 0
Screen stk: 0
15:23 07.14.09
\
411 421 PSD 411 412 WH WEIGHT \ UIBRO to 414
511 521 PSD 511 512 WH WEIGHT \ UIBRO to 514
611 621 PSD 611 612 WH WEIGHT \ UIBRO to 614
711 721 PSD 711 712 WH WEIGHT \ UIBRO to 714
;

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 5
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help
Line stack: 0
Screen stk: 0
14:50 21.08.08
\
INTEGER input 1 := input \
INTEGER subject 1 := subject \
INTEGER glove 1 := glove \
INTEGER run 1 := run \
INTEGER chnl 1 := chnl \ 1 = handle; 2 = palm
\
: dac_file 14 input 100 * + ;
: psd_file 21 input 100 * + ;
\ chnl ...
: adc_file subject 1000 *
glove 100 * +
input 10 * +
+ ;

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 6
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help
Line stack: 0
Screen stk: 0
18:04 23.07.08
\
REAL aH \ rms handle acceleration
REAL aWH \ Wh weighted rms handle acceleration
REAL aP \ rms palm acceleration
REAL aWP \ ISO weighted rms palm acceleration
REAL trw \ ISO weighted transmissibility
: rms STATS 5 CB ;
: Wrms 32701 DEL 32701 WH WEIGHT 32701 rms ;

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 7
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

: showSTATS CLS
CR ."
CR ."      subject = " subject .
CR ."      glove = " glove .
CR ."      input = " input .
CR ."      run = " run .
CR
CR ."      weighted aH = " awH R. ." m/s2"
CR ."      weighted aP = " awP R. ." m/s2"
CR ."      transmissibility = " trw R.
CR ." ***press any key to continue " KEY DROP
;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 8
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ Calculate statistics of unweighted and weighted acceleration
\ ...
: getSTATS
1 adc_file rms := aH
1 adc_file Wrms := awH
2 adc_file rms := aP
2 adc_file Wrms := awP
awP awH F/ := trw ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 9
1 h\lab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

: chkPSD
CR CR ." press Y to check handle PSD: " KEY
89 = IF
5.0 := resolution 1.25 := constant
32611 32613 ndel
psd_file 32611 FILE/
psd_file 32613 FILE*
1 adc_file 32612 PSD
32611 32612 32613 3 GRAPHS
THEN ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 10 \ TRANSCO ch1 13:25 23.07.08
1 hylab.scr \ Compute the transfer function and coherency of a linear
2 helga2n.scr \ system. File1=system input, file2=system output, file3=
3 \ transfer function, file4=squared coherency function.
4
5 INTEGER ifile INTEGER ofile \ declare variables for
6 INTEGER transfer INTEGER coher \ file names

Overstrike \ file1 file2 file3 file4...
Stamp: On : TRANSCO 4 ?DEPTH \ check stack depth
F1 = Help := coher \
:= transfer \ read file names off stack
:= ofile \ into variables
:= ifile \

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 11 \ TRANSCO continued ch1 13:25 23.07.08
1 hylab.scr 91 98 ndel \ delete files 91-96
2 helga2n.scr ifile 97 NORMALISE \ normalise ifile in file 97
3 ofile 98 NORMALISE \ normalise ofile in file 98
4 97 91 PSD \ psd of system input in file 91
5 98 92 PSD \ psd of system output in file 92
6 97 98 93 CSD \ csd in file 93
93 91 94 FILE/FILE \ complex transfer func in file 94
Overstrike 94 transfer MODPHASE \ resolve file 94 to output file
Stamp: On 91 92 95 FILE*FILE \ product of psds in file 95
F1 = Help 93 96 FILESQ \ mult csd by complex conjugate
96 95 coher FILE/FILE \ coherency = csd**2/psd*psd
91 98 ndel ; \ delete files 91-96

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 12 \ menu linkages 16:48 25.07.08
1 hylab.scr
2 helga2n.scr \ ^str n...^str edit counted string
3 : $ED " $ED" BRUN MENU END-MODULE ;
4
5 \ f...f edit real number
6 \ #FED 1E-6 F+ " #FED" BRUN MENU END-MODULE ;

Overstrike \ n...n edit integer <field=4>
Stamp: On : #IED " #IED" BRUN MENU END-MODULE ;
F1 = Help \ ^str1 - ^strn n...function menu
MENU " MENU" BRUN MENU END-MODULE ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 13
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ INTEGER tfile 901 := tfile
\ showTRANS
\ CR CR ." press Y to show transmissibility(f): " KEY
89 = IF
32621 32624 ndel
1 adc_file
2 adc_file
32623 32624 TRANS CO
32623 32624 2 GRAPHS
\ CR ." file for transmissibility: " tfile #IED := tfile
\ 32623 tfile COPY
THEN ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 14
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ ASCII TABLE continued
\ define variables for table parameters
INTEGER sprdsht? 1 := sprdsht? \ 0 = ASCII text format
\ 1 = csv spreadsheet fmt
INTEGER figures 3 := figures \ sig. figures for data
INTEGER col-width 10 := col-width \ width of column in table
INTEGER next-col 1 := next-col \ column of next cell
INTEGER columns 1 := columns \ no. of columns in table

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 15
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ ASCII TABLE continued
\ ...^str carriage return/line feed
: crlf " J" ;
\ ...^str string of spaces
: blanks " " ;
\ ^str...^str insert quotes around string
: quote " " ; quote ASCII ' ASCII " CHR^
: inquotes quote SWAP $+ quote $+ ;
\ ^str...^str extend counted string
: $PAD blanks $+ col-width $MAX ; \ pad with spaces
: "PAD inquotes $PAD ; \ insert quote marks
: ,DL " , " $+ ; \ insert comma delimit

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 16 \ ASCII TABLE continued ch1 13:24 23.07.08
1 hylab.scr \ create file handle control block
2 helga2n.scr \ HCB FO " table.prn" FO NAME>HCB \ default name = table.prn
3
4 \ ^str... writes string to ascii output file
5 : ascii-out FO SWAP COUNT DUP >R FWRITE
6 R> <> IF -1 STATUS QUIT THEN ; \ check errors

Overstrike \ f... write real value to ascii output file
: R.$ 1E-6 F+ R.$ ;
Stamp: On : $out R.$ STIRPCK
: sprdsht? IF ,DL ELSE $PAD THEN ascii-out ;

F1 = Help \ ^str...^str adj str length & write to output file
: ^out sprdsht? IF $PAD ,DL ELSE $PAD THEN ascii-out ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 17 \ ASCII TABLE continued ch1 13:24 23.07.08
1 hylab.scr \ ... write line feed to output file
2 helga2n.scr : linefeed crlf ascii-out ;
3
4 \ ... append line feed if last column written
5 : linefeed? next-col 1+ := next-col
6 next-col columns > IF linefeed
1 := next-col
THEN ;

Overstrike \ ^filename... create text file
: $output FO NAME>HCB
FO search 0 FFIRSTIF 0= \ check if file exists
IF ? EMIT FO NAME $. ." already exists" ABORT
THEN
FO 0 FMAKE STATUS ; \ create it

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 18 \ ASCII TABLE: application words ch1 13:24 23.07.08
1 hylab.scr \ columns col-width sig-figs ^filename... open new text file
2 helga2n.scr : $OUTPUT $output
3 1- PLACES
4 := col-width
5 := columns ;
6

Overstrike \ f... write real number to next cell in table
: $OUT $out linefeed? ;

Stamp: On \ ^str... write counted string to next cell in table
: ^OUT ^out linefeed? ;

F1 = Help \ close text file
: $END linefeed FO END 5 PLACES ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 19
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ Export statistics of unweighted and weighted acceleration
\ ...
: expSTATS      subject  FLOAT $OUT
                glove    FLOAT $OUT
                input    FLOAT $OUT
                run       FLOAT $OUT
                dac_file  FLOAT $OUT

                1 adc_file FLOAT $OUT

                aH        $OUT   awH $OUT
                aP        $OUT   awP $OUT
                trw       $OUT   ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 20
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ ^file...
: openCSU      >R
               11 10 5 R> $OUTPUT \ 11 cols, 10 chars, 5 sig figs
               " subject" ^OUT " glove" ^OUT " input" ^OUT
               " run" ^OUT
               " dac_file" ^OUT
               " adc_file" ^OUT
               " aH" ^OUT " awH" ^OUT
               " aP" ^OUT " awP" ^OUT
               " trw" ^OUT
               ;

: closeCSU $END ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 21
1 hvlab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

\ start experimental run
: DAC      dac_file 17 COPY
           17 STATS
           0 CB 2DUP := 6 PARA 1.0 F- 1 CB F/ := 5 PARA \ smp/durn
           2.0 := 1 PARA
           1.0 := 7 PARA \ adc / dac channels
               1 4 ndel DATA
               1 1 adc_file COPY
               2 2 adc_file COPY
           ;

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 22      \ glove tests      12:57 07.15.09
1 hvlab.scr      : GO  CR ." ***CSUfile = "
2 helga2n.scr    " C:\HELGA2N\log1.csv" 22 $ED openCSU
3               1 := input
4               BEGIN CR ." ***Subject = " subject #IED := subject
5                 CR ." ***Glove   = " glove #IED := glove
6                 CR ." ***Input <0 to exit> = " input #IED := input CR

Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 23      \      13:01 07.15.09
1 hvlab.scr      input WHILE DAC
2 helga2n.scr    getSTATS showSTATS expSTATS
3                showTRANS chkPSD
4                \ input 1+ := input
5                \ input 7 > IF 1 := input glove 1+ := glove THEN
6                \ glove 5 > IF 1 := glove subject 1+ := subject THEN
CR ." ***Input <0 to exit> = " input #IED := input CR
CR ." ***Glove   = " glove #IED := glove

Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 24      \ glove tests      13:05 07.15.09
1 hvlab.scr      : SHOW CLS ." ***Subject = " subject #IED := subject
2 helga2n.scr    CR ." ***Glove   = " glove #IED := glove
3                CR ." ***CSUfile = " " glove\log.csv" 12 $ED openCSU
4                1 := input
5                BEGIN CR ." ***Subject = " subject #IED := subject
6                CR ." ***Glove   = " glove #IED := glove
CR ." ***Input <0 to exit> = " input #IED := input CR
input WHILE getSTATS showSTATS expSTATS
showTRANS chkPSD
input 1+ := input
input 7 > IF 1 := input glove 1+ := glove THEN
glove 5 > IF 1 := glove subject 1+ := subject THEN
CLS REPEAT
closeCSU ;

Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

Line stack: 0
Screen stk: 0

```

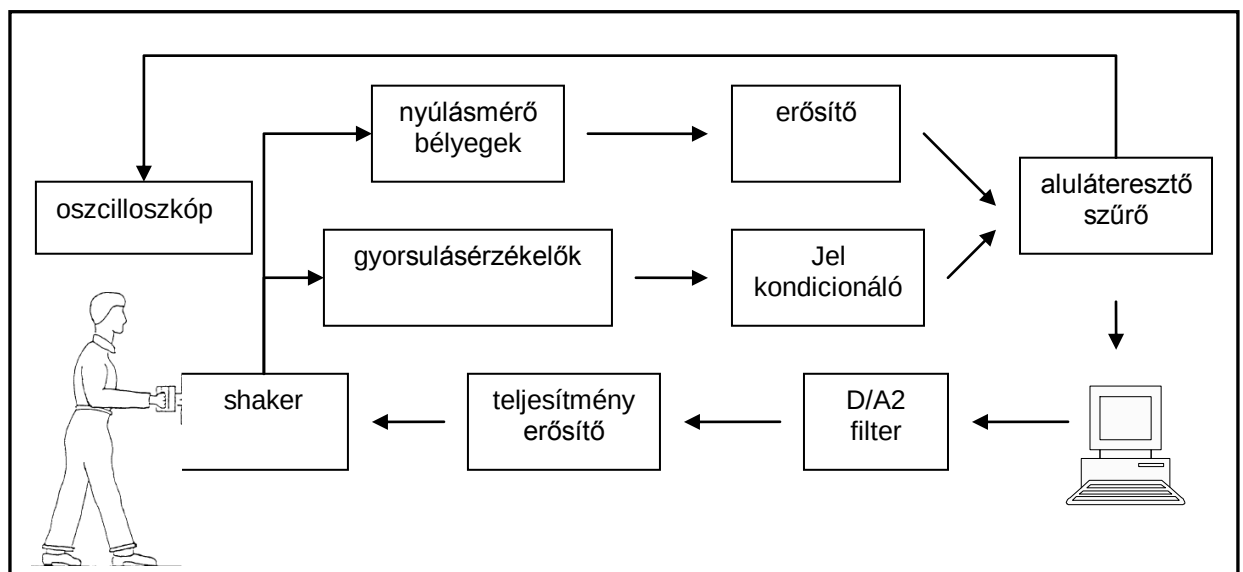
folytatás

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Screen # 25
1 hvalab.scr
2 helga2n.scr
3
4
5
6
Overstrike
Stamp: On
F1 = Help

Line stack: 0
Screen stk: 0

REAL hmag REAL pmag REAL tf
hfile1 hfile2 pfile1 pfile2 ...
WMAG 32001 32010 ndel
32004 NORMALISE
32003 NORMALISE
32002 NORMALISE
32001 NORMALISE
32001 32002 2 32005 MERGE
32003 32004 2 32006 MERGE
32005 32007 WH WEIGHT
32006 32008 WH WEIGHT
32007 STATS 5 CB := hmag 32008 STATS 5 CB := pmag
CR ." hmag = " hmag R. CR ." pmag = " pmag R.
pmag hmag F/ := tf CR ." tf = " tf R. ;
```

M.2.(c) ábra Anti-vibrációs kesztyűk vizsgálatához előállított rezgésjelek generálásának programja FORTH nyelvben.



M.2.(d) ábra A kesztyűteszt mérési eszközeinek sematikus ábrája.

```

srate = 5000;
HV.TINCREMENT = 1/srate;
HV.DURATION = 60;
HV.AMPLITUDE = 1.72*sqrt(srate/2); %peak amplitude to give approx unity
PSD

bandno = 0:1:34;          %3rd octave band nos.
oct3f = 10.^(bandno./10); %3rd-octave frequencies

%enter toolspectrum - a column matrix of accelerations in bands from 0 to
31, followed by 3 x zeroes
toolspectrum = [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 0 0 0]
tool = 'description of tool'; % enter description

oct3psd = toolspectrum.^2 ./ (0.23077 .* oct3f);
psdf = 0:2500/1024:2500; %psd frequencies
psdy = interp1([0 oct3f], [0 oct3psd], psdf);
targetpsd = hvcreate(psdy, 2500/1024, tool, '(m/s.) ./Hz', 'Hz');
targetpsd.stats = [2500 0 0 0];
hvgraph(targetpsd);

fileno = 1001;
hvexport([num2str(fileno) '.dat'], 'dat', targetpsd);

% filter = targetpsd;
% %filter = hvpower(targetpsd, 0.5);
% filter.dtype = 2;
%
% impulse = hvimpulse(filter, 1024);
% %impulse.y = real(impulse.y);
% randata = hvrandom();
% tooldata = hvconvolve(randata, impulse);
% tooldata.y = real(tooldata.y);
% toolpsd = hvpsd(tooldata);

```

M.2.(e) ábra Szintetizált rezgésspektrum előállításának Matlab kódja.

M.2.(e) táblázat A kesztyűtesztben résztvevő tesztszemélyek fizikai jellemzői.

Kísérlés szakasza	Tesztalany száma	Kézméret	Kor	Magasság	Testsúly
1. szakasz (első tesztcsoport)	1	8	27	175	65
	2	9	27	175	72
	3	9	28	175	90
	4	8	27	178	75
	5	10	28	185	85
	6	9	26	180	82
	7	10	61	186	85
	8	9	31	178	65
	9	9	38	175	80
	10	9	40	176	75
	11	8	31	170	57
	12	9	29	175	78
1. szakasz (második tesztcsoport)	1	9	29	175	86
	2	8	39	170	83
	3	9	29	185	81
	4	8	29	170	70
	5	9	26	189	80
	6	8	27	170	56
	7	8	27	178	75
	8	8	27	171	74
	9	8	28	180	80
	10	8	27	175	83
	11	9	24	182	68
	12	8	27	175	71
2. szakasz	1	8	22	170	75
	2	9	27	175	72
	3	9	38	175	80
	4	10	28	185	85
	5	10	25	180	82
	6	10	31	186	78
	7	9	39	170	85
	8	9	26	180	82
	9	8	27	175	65
	10	9	28	181	73
	11	9	28	175	90
	12	10	53	186	80
3. szakasz	1	9	29	175	86
	2	8	39	170	83
	3	9	29	185	81
	4	8	29	170	70
	5	9	26	189	80
	6	8	27	170	56
	7	8	27	178	75
	8	8	27	171	74
	9	8	28	180	80
	10	8	27	175	83
	11	9	24	182	68
	12	8	27	175	71

Investigation of the effectiveness of anti-vibration gloves

By Helga Elvira Laszlo, supervisor Prof. M.J. Griffin

Description of the experiment

Many studies indicate that extended use of hand-held power tools can induce degeneration of the vascular and sensorineural system of the hand collectively called hand-arm vibration syndrome (HAVS).

Several methods are applicable to minimise the risk of vibration induced injuries. As personal protective equipment, anti-vibration gloves can be used to reduce the magnitude of the vibration exposure by isolating the body from the source.

The aim of this project is to investigate three effects on the efficiency of vibration reduction of anti-vibration gloves.

The glove vibration transmissibility is measured using a special adaptor hold in the palm. (see Figure 1.) The position of the subject is shown in Figure 2.

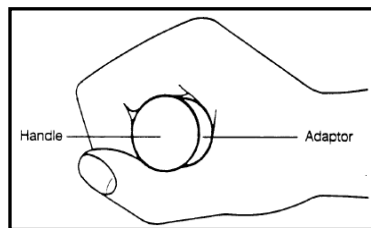


Figure 1. Adapter position

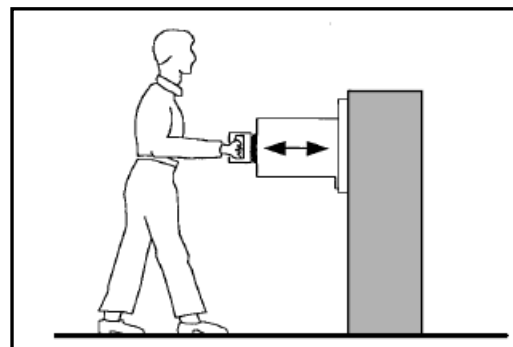


Figure 2. Subject position

During the experiment different length or type of excitation will be produced. **It is important to follow the instruction of the experimenter about the required hand forces.** You can control the grip/push force by watching the sign on an oscilloscope. The measurement takes around 1 hour. If you feel uncomfortable or tired, let the experimenter know in order to have a break.

Thank you for participating in the experiment! If you have any questions feel free to ask.

Consent form to be completed by adult subjects taking part in an experiment
(Adults are 18 years of age or older).

Human Experimentation Safety & Ethics Approval Number:

Exposure Number:

Vibration Experiment Exposure and Consent Form

Before completing this form, please read the 'Information for Subjects' on the reverse side of this sheet.

(i) Name (Mr/Mrs/Miss/)

(ii) Do you have any of the conditions listed on the reverse side of this form?.....

(iii) Have you ever suffered any serious illness or injury?

(iv) Are you under medical treatment or suffering disability affecting your daily life?

If your answer is 'YES' to questions (ii), (iii) or (iv), please give details to Experimenter.

DECLARATION

I volunteer to be a subject in a vibration experiment. My replies to the above questions are correct to the best of my belief, and I understand that they will be treated by the experimenter as confidential. I understand that I may at any time withdraw from the experiment and that I am under no obligation to give reasons for withdrawal or to attend again for experimentation.

I undertake to obey the regulations of the laboratory and instructions of the Experimenter regarding safety, subject only to my right to withdraw declared above. The purpose and methods of the research have been explained to me and I have had the opportunity to ask questions.

Signature of Subject Date

I confirm that I have explained to the subject the purpose and nature of the investigation which has been approved by the Human Experimentation Safety and Ethics Committee.

Signature of Experimenter Date

Medical assistance is available if required.

Cont/...

This form must be submitted to the Secretary of the Human Experimentation Safety and Ethics Committee on completion of the experiment.

Information for Subjects

Persons with any of the following conditions are usually considered unfit for vibration experiments

Active disease of respiratory system: including recent history of coughing-up blood or chest pain.

Active disease of the gastro-intestinal tract: including internal or external hernia, peptic ulcer, recent gall-bladder disease, rectal prolapse, anal fissure, haemorrhoids or pilonidal sinus.

Active disease of the genito-urinary system: including kidney stones, urinary incontinence or retention or difficulty in micturition.

Active disease of the cardiovascular system: including hypertension requiring treatment, angina of effort, valvular disease of the heart, or haemophilia.

Active disease of the musculo-skeletal system: including degenerative or inflammatory disease of the spine, long bones, or major joints or a history of repeated injury with minor trauma.

Active or chronic disease or disorders of the nervous system: including eye and ear disorders and any disorder involving motor control, wasting of muscles, epilepsy or retinal detachment.

Pregnancy: any woman known to be pregnant should not participate as a subject in a vibration experiment.

Mental Health: subjects must be of sound mind and understanding and not suffering from any mental disorder that would raise doubt as to whether their consent to participate in the experiment was true and informed.

Recent trauma and surgical procedures: persons under medical supervision following surgery or traumatic lesions (e.g. fractures) should not participate in vibration experiments.

Prosthesis: persons with internal or external prosthetic devices normally should not participate in vibration experiments (although dentures need not exclude participation in experiments with low magnitudes of vibration).

Other:

(For completion by experimenter)

To be completed by the Experimenter:

VIBRATOR:

DESCRIPTION OF VIBRATION: State levels, frequencies, axes, durations etc. (If subject is in direct or indirect control of the vibration level, also state maximum vibration level for each condition.) Indicate subject posture, seat type, etc. and any other factors affecting subject exposure. Description must be sufficient to enable reader to reproduce a similar exposure pattern.

COMMENTS: (If more space is required, please attach a continuation sheet.)

adltvibn.doc

M.2.(f) ábra A kesztyűtesztben résztvevőknek szóló leírás a vizsgálatról és az egészségügyi kérdőív.

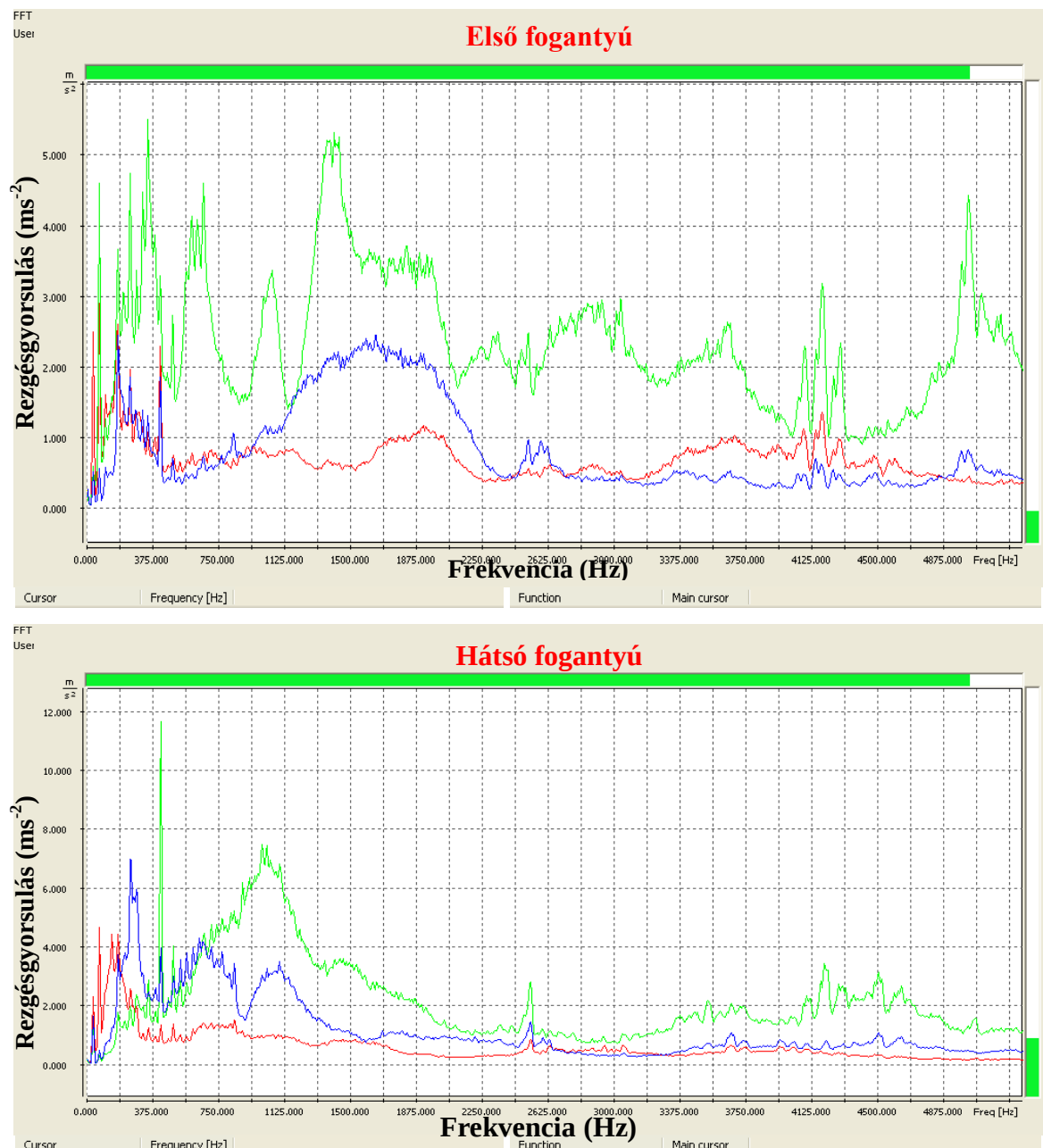
3. melléklet

M.3.(a) táblázat A napi rezgésterhelés, A(8) értékei az egyes fűkaszákra, 4 órás munkaidőt feltételezve, illetve a fehér ujj megbetegedés 10 %-os valószínűségű megjelenéséhez szükséges idő, D_y években.

Fűkasza száma	átlag a_{hv} alapjárat ms^{-2} rss	A(8) alapjárat ms^{-2}	D_y év	átlag a_{hv} vágás ms^{-2} rss	A(8) vágás ms^{-2}	D_y év
1	3.216	2.274	13.31	3.343	2.364	12.78
2	2.798	1.978	15.43	2.880	2.036	14.97
3	2.734	1.933	15.81	2.514	1.777	17.29
4	2.161	1.528	20.29	2.376	1.680	18.35
5	2.037	1.440	21.60	2.304	1.629	18.96
6	2.381	1.683	18.31	2.675	1.892	16.18
7	3.382	2.391	12.62	3.576	2.529	11.90
8	4.006	2.832	10.55	4.252	3.006	9.90
9	4.079	2.884	10.35	4.432	3.134	9.47
10	4.290	3.033	9.81	4.316	3.052	9.75
11	2.512	1.776	17.30	2.711	1.917	15.95

M.3.(b) táblázat A napi rezgésterhelés, A(8) értékei az egyes fűnyírókra, 4 órás munkaidőt feltételezve, illetve a fehér ujj megbetegedés 10 %-os valószínűségű megjelenéséhez szükséges idő, D_y években.

Fűnyíró száma	átlag a_{hv} alapjárat ms^{-2} rss	A(8) alapjárat ms^{-2}	D_y év	átlag a_{hv} vágás ms^{-2} rss	A(8) vágás ms^{-2}	D_y év
1	5.313	3.757	7.82	6.558	4.637	6.25
2	4.147	2.933	10.17	4.645	3.284	9.02
3	7.768	5.493	5.23	7.807	5.521	5.20
4	8.575	6.063	4.71	8.268	5.847	4.89

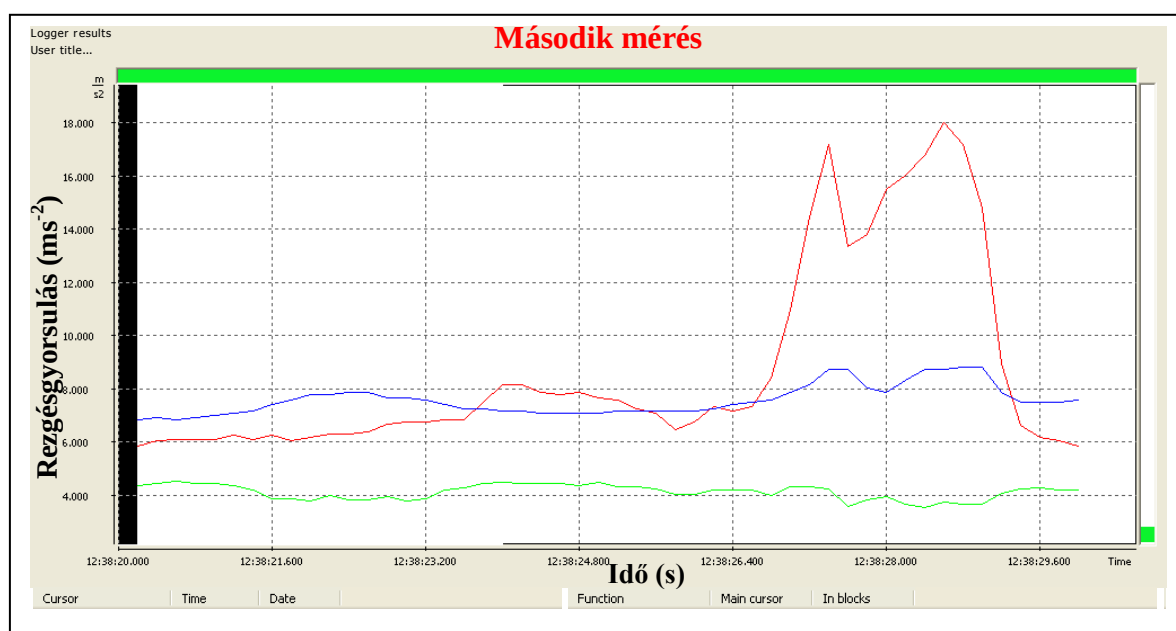
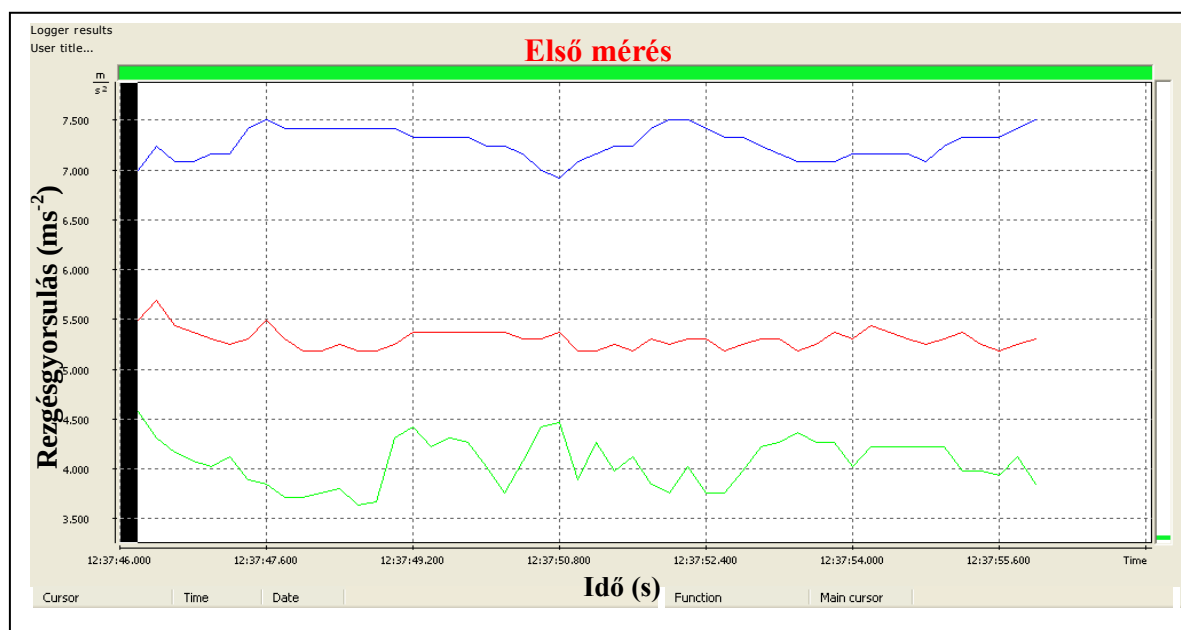


M.3.(a) ábra Sövényvágó3 rezgésének keskenysáv analízise, alapláraton, az első és hátsó fogantyún mérve (5 Hz felbontás mellett; — x tengely, — y tengely, — z tengely).

M.3.(c) táblázat A napi rezgésterhelés, $A(8)$ értékei az egyes sövényvágókra, 4 órás munkaidőt feltételezve, illetve a fehér ujj megbetegedés 10 %-os valószínűségű megjelenéséhez szükséges idő, D_y években.

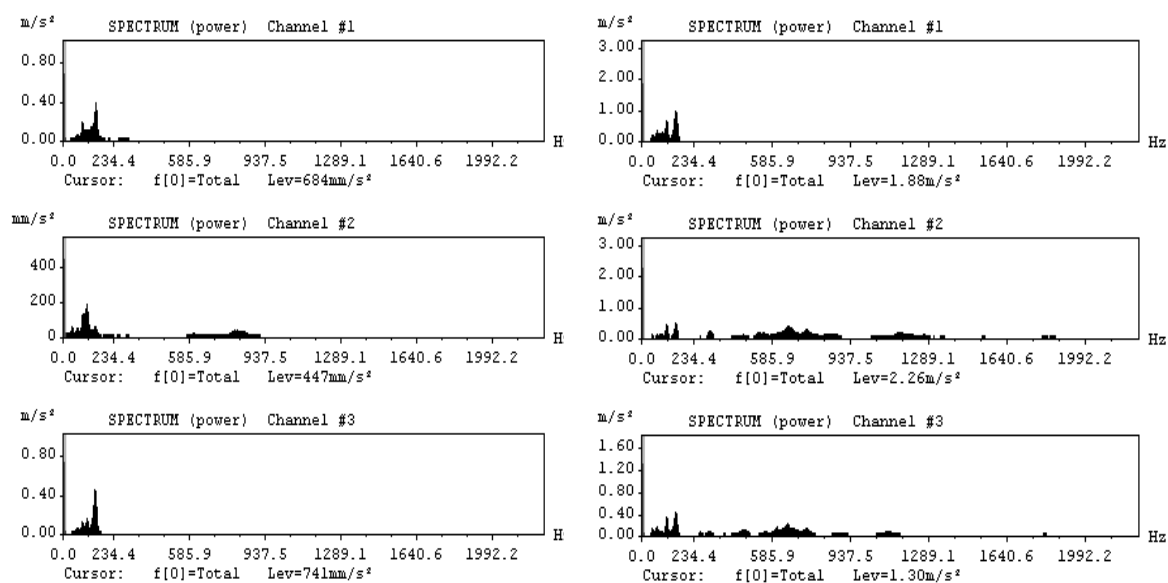
Sövényvágó száma	átlag a_{hv} alaplárat ms^{-2} rss	$A(8)$ alaplárat ms^{-2}	D_y év	átlag a_{hv} vágás ms^{-2} rss	$A(8)$ vágás ms^{-2}	D_y év
1	2.511	1.776	17.30	4.410	3.119	9.52
2	2.110	1.492	20.81	2.653	1.876	16.32
3	2.626	1.857	16.50	3.059	2.163	14.03

4. melléklet



M.4. ábra Fűnyíró rezgésgyorsulási adatai — x tengely, — y tengely, — z tengely irányokban 10 s mérési idővel.

5. melléklet



M.5. ábra 2007-ben vizsgált Fűkasza4 (bal) és Fűkasza2 (jobb) keskenysávú analízisének eredménye (súlyozósűrő nélkül, vágás üzemmódban, jobb fogantyún mérve).

6. melléklet

M.6.(a) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a sövényvágó és fűkasza különböző kézben tartási módjaival mért a_{hv} értékek összehasonlításakor, Friedman teszttel.

Eszköz	Mérés helye és üzemmód	Irány		
		x	y	z
sövényvágó	első f. alap	0.002	0.03	0.03
	első f. vágás	0.009	0.006	0.115
	hátsó f. alap	0.006	0.607	0.009
	hátsó f. vágás	0.011	0.223	0.042
fűkasza	első f. alap	0.009	0.223	0.042
	első f. vágás	0.002	0.002	0.006
	hátsó f. alap	0.002	0.009	0.009
	hátsó f. vágás	0.002	0.011	0.069

M.6.(b) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a sövényvágó különböző kézben tartási módjaival és üzemmódokban mért a_{hv} értékek összehasonlításakor, Wilcoxon teszttel.

Irány	Mérés módja	első fogantyú	első fogantyú B	első fogantyú J	hátsó fogantyú	hátsó fogantyú B	hátsó fogantyú J
x	első fogantyú		0.028 0.345	0.028 0.028	0.028 0.028		
	első fogantyú B			0.028 0.028		0.249 0.028	
	első fogantyú J						0.028 0.028
y	első fogantyú		0.075 0.028	0.028 0.046	0.028 0.249		
	első fogantyú B			0.917 0.028		0.028 0.028	
	első fogantyú J						0.028 0.028
z	első fogantyú		0.028 0.075	0.463 0.917	0.028 0.028		
	első fogantyú B			0.046 0.046		0.028 0.028	
	első fogantyú J						0.028 0.028
x	hátsó fogantyú					0.028 0.674	0.028 0.028
	hátsó fogantyú B						0.344 0.028
y	hátsó fogantyú					0.345 0.249	0.249 0.753
	hátsó fogantyú B						0.345 0.116
z	hátsó fogantyú					0.028 0.046	0.028 0.917
	hátsó fogantyú B						0.752 0.028

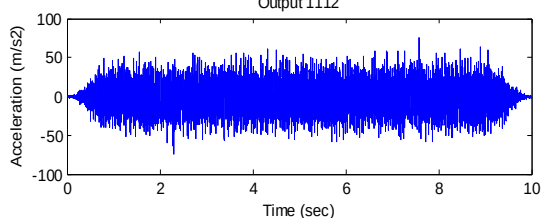
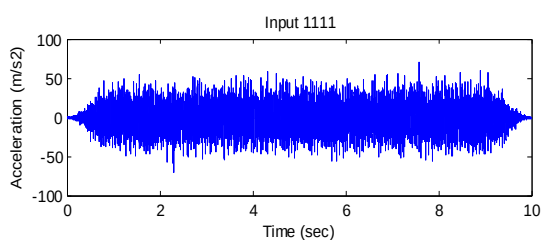
Megjegyzés: B=eszköz balra döntött, J= eszköz jobbra döntött; a döntött p értékek a vágáskor mért rezgésértékek összehasonlításának eredményét mutatják.

M.6.(c) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a sövényvágó különböző kézben tartási módjaival és üzemmódokban mért a_{hv} értékek összehasonlításakor, Wilcoxon teszttel.

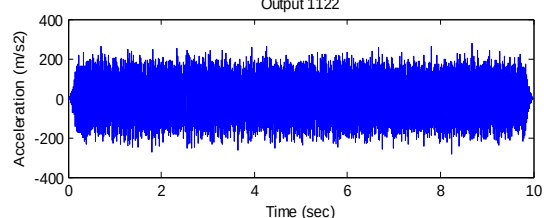
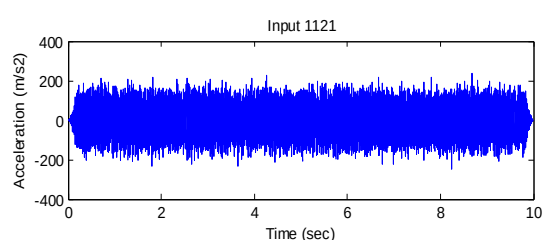
Irány	Mérés módja	első fogantyú	első fogantyú B	első fogantyú J	hátsó fogantyú	hátsó fogantyú B	hátsó fogantyú J
x	első fogantyú		0.345 0.028	0.028 0.028	0.249 0.028		
	első fogantyú B			0.028 0.028		0.075 0.028	
	első fogantyú J						0.463 0.028
y	első fogantyú		0.173 0.028	0.173 0.028	0.028 0.028		
	első fogantyú B			0.917 0.028		0.028 0.028	
	első fogantyú J						0.028 0.027
z	első fogantyú		0.028 0.116	0.6 0.028	0.028 0.028		
	első fogantyú B			0.075 0.028		0.028 0.028	
	első fogantyú J						0.028 0.028
x	hátsó fogantyú					0.028 0.028	0.028 0.028
	hátsó fogantyú B						0.028 0.028
y	hátsó fogantyú					0.028 0.028	0.028 0.463
	hátsó fogantyú B						0.028 0.028
z	hátsó fogantyú					0.028 0.075	0.028 0.046
	hátsó fogantyú B						0.028 0.046

Megjegyzés: B=eszköz balra döntött, J= eszköz jobbra döntött; a döntött p értékek a vágáskor mért rezgésértékek összehasonlításának eredményét mutatják.

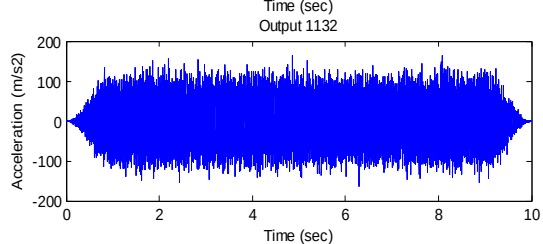
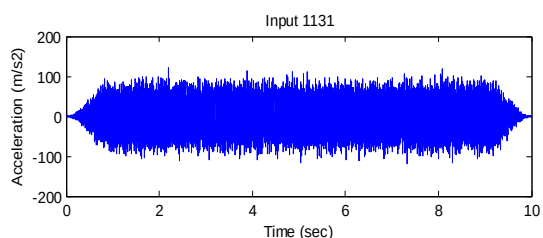
7. melléklet



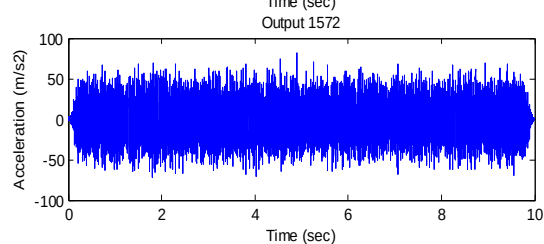
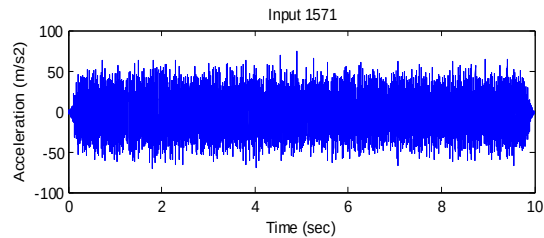
M



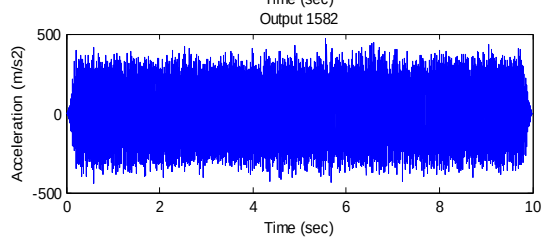
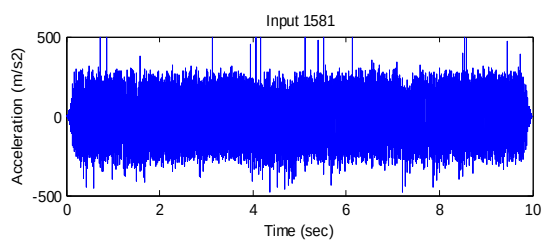
H



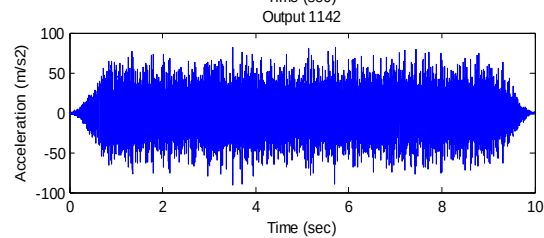
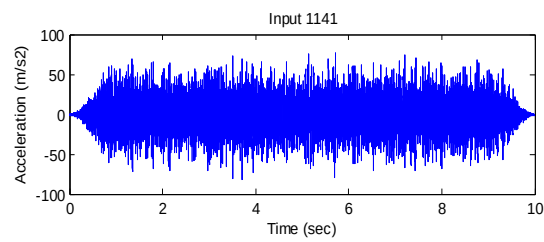
R



láncfűrész (AV)

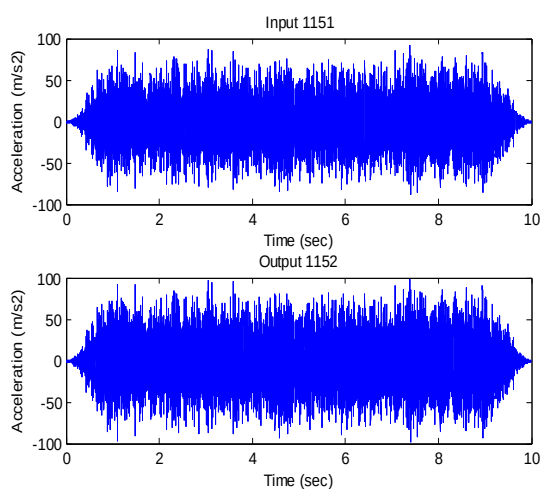


láncfűrész (nonAV)

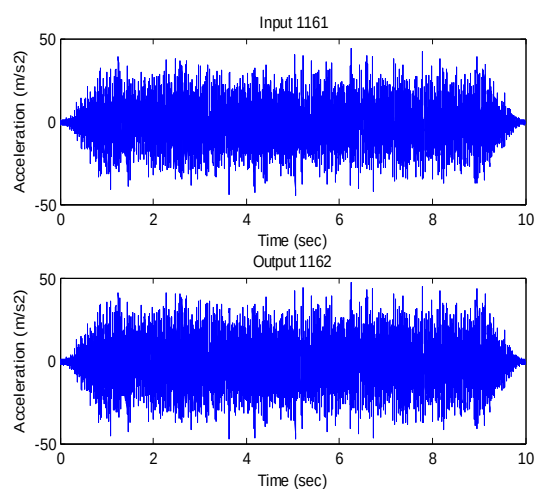


fűkasza (új)

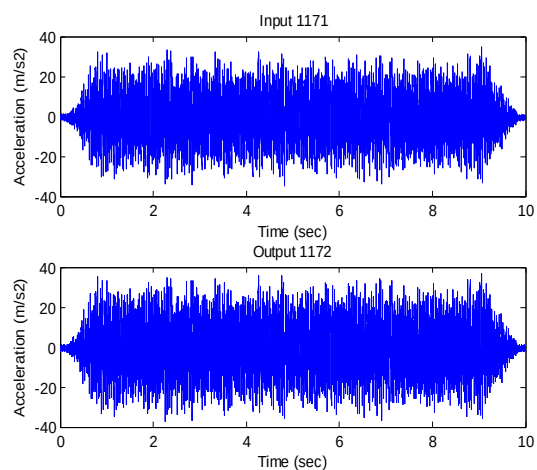
folytatás



fűkasza (régi)

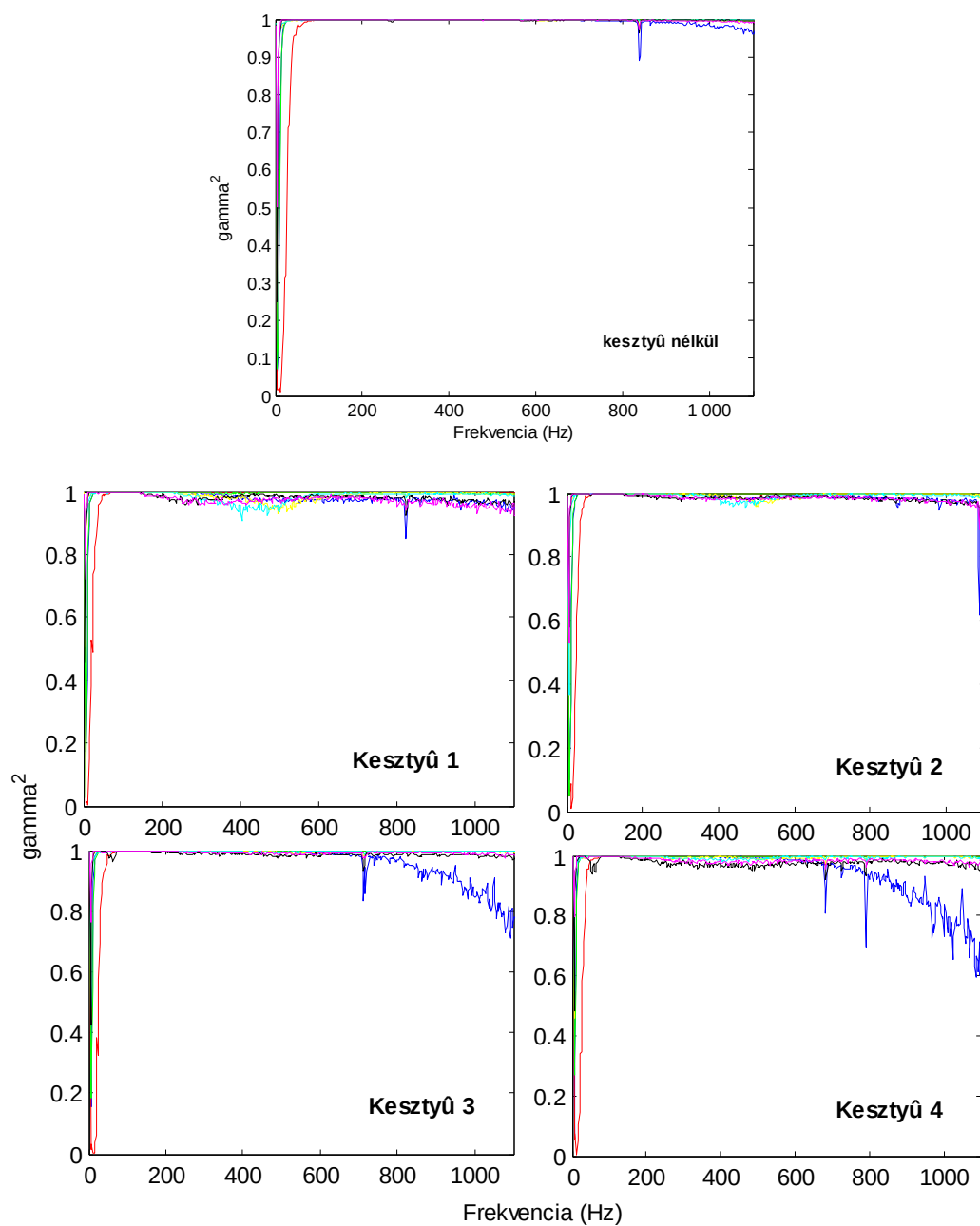


fűnyíró



sövényvágó

M.7.(a) ábra A kesztyűteszthez generált 9 rezgés rezgéskeltőbe menő (input) jelei és a fogantyún mért (output) rezgések idő szerinti grafikonjai.



M.7.(b) ábra A bemenő és kimenő jel közötti koherencia kesztyű nélkül és a négy anti-vibrációs kesztyű esetén 7 rezgésspektummal (12 tesztszemély átlaga; (— M, — H, — R, — láncfűrész (AV), — láncfűrész (nonAV), — fűkasza (új), — fűkasza (rég), — fűnyíró, — sövényvágó).

M.7.(a) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző rezgésspektrumok oktávsávonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Friedman teszttel (M, H, R, láncfűrész(AV) és láncfűrész(nonAV) spektrumokkal).

Frekvencia Hz	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
16	0.000	0.000	0.000	0.000
31,5	0.000	0.000	0.000	0.000
63	0.005	0.072	0.032	0.105
125	0.627	0.097	0.375	0.007
250	0.032	0.007	0.975	0.176
500	0.008	0.109	0.274	0.363
1000	0.349	0.308	0.104	0.006

M.7.(b) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző rezgésspektrumok oktávsávonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Friedman teszttel (M, H, R, fűkasza(új), fűkasza(régi), fűnyíró, sövényvágó spektrumokkal).

Frekvencia Hz	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
16	0.000	0.000	0.000	0.000
31,5	0.218	0.000	0.000	0.005
63	0.229	0.245	0.006	0.023
125	0.020	0.240	0.747	0.638
250	0.105	0.007	0.164	0.789
500	0.189	0.076	0.084	0.389
1000	0.118	0.000	0.363	0.748

M.7.(c) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző rezgésspektrumok oktávsvonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Wilcoxon teszttel (M, H, R, láncfűrész(AV) és láncfűrész(nonAV) spektrumokkal).

Frekvencia	Spektrum	M				H			
		Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
16 Hz	R	0.480	0.055	0.556	0.346				
	láncfűrész(új)	0.754	0.084	0.410	0.638				
	láncfűrész(régi)	0.003	0.388	0.020	0.002				
31,5 Hz	R	0.583	0.346	0.092	0.367				
	láncfűrész(új)	0.239	0.209	0.814	0.289				
	láncfűrész(régi)	0.015	0.008	0.050	0.017				
63 Hz	R	0.480		0.224					
	láncfűrész(új)	0.875		0.308					
	láncfűrész(régi)	0.003		0.034					
125 Hz	R				0.117				0.041
	láncfűrész(új)				0.200				0.005
	láncfűrész(régi)				0.610				0.071
250 Hz	R	0.937	0.028			0.347	0.272		
	láncfűrész(új)	0.505	0.136			0.754	0.041		
	láncfűrész(régi)	0.012	0.005			0.028	0.433		
500 Hz	R					0.479	0.398	0.136	0.937
	láncfűrész(új)					0.507	0.116	0.136	0.182
	láncfűrész(régi)					0.028	0.084	0.071	0.480
1000 Hz	R					0.213	0.754	0.666	0.126
	láncfűrész(új)					0.813	0.158	0.224	0.018
	láncfűrész(régi)					0.045	0.480	0.034	0.583

Megjegyzés: zöld háttér=Friedman teszt alapján nem volt statisztikai eltérés, szürke háttér=szabványos spektrumok alacsony energiataralma miatt értelmetlen az összehasonlítás

M.7.(d) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző rezgésspektrumok oktávsvonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Wilcoxon teszttel (M, H, R, fűkasza(új), fűkasza(régi), fűnyíró, sövényvágó spektrumokkal).

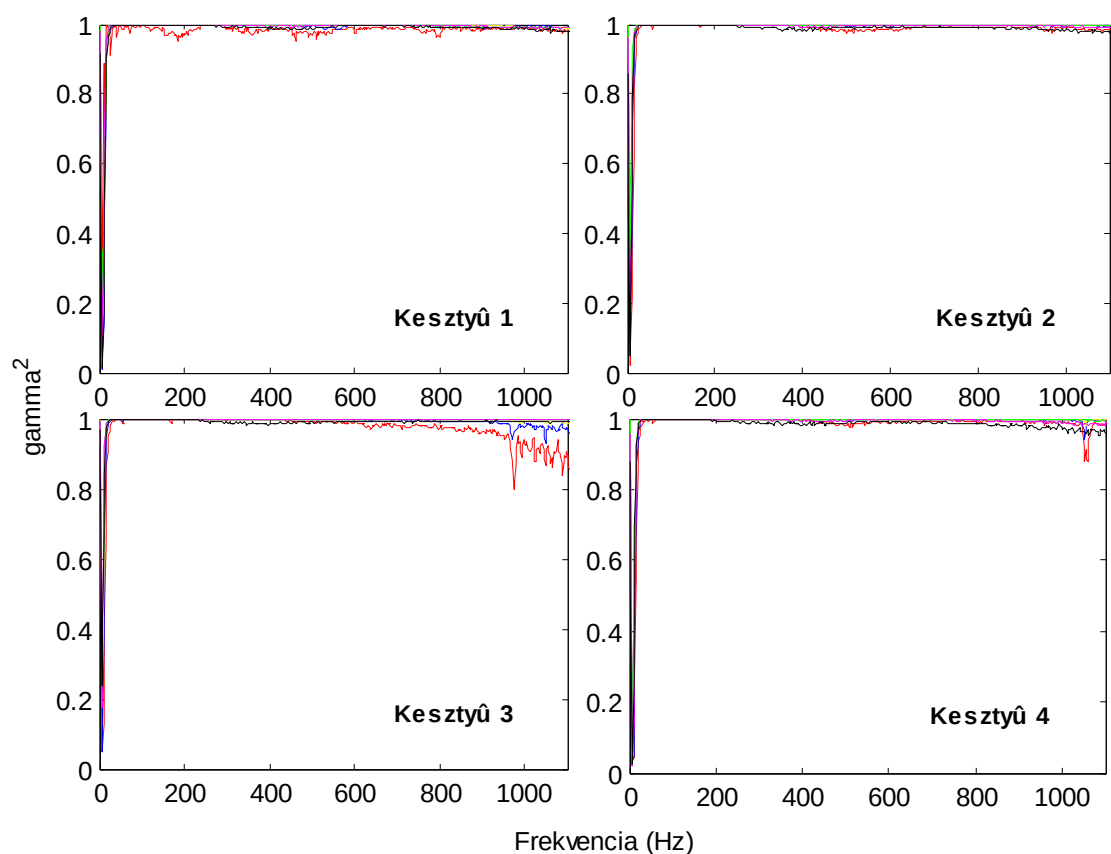
Frekvencia	Spektrum	M				H			
		Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
16 Hz	R	0.034	0.071	0.034	0.789				
	fűkasza(új)	0.814	0.534	0.784	0.594				
	fűkasza(régi)	0.146	0.099	0.722	0.026				
	fűnyíró	0.173	0.722	0.147	0.533				
	sövényvágó	0.346	0.327	0.084	0.449				
31,5 Hz	R		0.169	0.48	1.000				
	fűkasza(új)		0.155	0.272	0.476				
	fűkasza(régi)		0.533	1.00	0.533				
	fűnyíró		0.01	0.136	0.859				
	sövényvágó		0.008	0.224	0.929				
63 Hz	R			0.875	0.131				
	fűkasza(új)			0.272	0.594				
	fűkasza(régi)			0.556	0.508				
	fűnyíró			0.666	0.182				
	sövényvágó			0.099	0.505				
125 Hz	R	0.117				0.754			
	fűkasza(új)	0.224				0.53			
	fűkasza(régi)	0.433				0.034			
	fűnyíró	0.594				0.086			
	sövényvágó	0.53				0.195			
250 Hz	R		0.239				0.117		
	fűkasza(új)		0.722				0.131		
	fűkasza(régi)		0.53				0.433		
	fűnyíró		0.041				0.013		
	sövényvágó		0.07				0.004		
500 Hz	R								
	fűkasza(új)								
	fűkasza(régi)								
	fűnyíró								
	sövényvágó								
1000 Hz	R						0.695		
	fűkasza(új)						0.182		
	fűkasza(régi)						0.012		
	fűnyíró						0.016		
	sövényvágó						0.002		

Megjegyzés: zöld háttér=Friedman teszt alapján nem volt statisztikai eltérés, szürke háttér=szabványos spektrumok alacsony energiatarlalma miatt értelmetlen az összehasonlítás

8. melléklet

M.8.(a) táblázat A kesztyűteszt 2. és 3. szakaszában mért átlagos, minimum és maximum rezgésátvitel értékek (12 személy átlagában) a variációs együttható (CoV) felüntetésével.

Rezgés- erősség m/s ² rms	Nyomó- erő N	Kesztyű 1			Kesztyű 2			Kesztyű 3			Kesztyű 4			összes kesztyű	
		TR	MIN MAX	CoV	TR	MIN MAX	CoV	TR	MIN MAX	CoV	TR	MIN MAX	CoV	TR	CoV
0.25	50	0.770	0.633 0.884	0.096	0.913	0.814 0.975	0.049	0.816	0.718 0.945	0.094	0.927	0.793 1.039	0.097	0.857	0.089
0.5		0.763	0.646 0.863	0.096	0.916	0.818 0.999	0.062	0.804	0.690 0.904	0.095	0.906	0.591 1.023	0.138	0.847	0.089
1.0		0.764	0.602 0.878	0.111	0.912	0.797 1.007	0.079	0.822	0.686 0.966	0.106	0.872	0.572 1.005	0.142	0.843	0.076
2.0		0.791	0.650 0.923	0.105	0.910	0.785 1.011	0.085	0.787	0.555 0.979	0.151	0.837	0.546 1.000	0.157	0.831	0.069
4.0		0.793	0.658 0.899	0.101	0.902	0.722 0.995	0.094	0.797	0.606 0.965	0.143	0.833	0.557 0.997	0.163	0.831	0.061
8.0		0.798	0.684 0.922	0.102	0.880	0.746 0.983	0.098	0.805	0.584 0.984	0.138	0.813	0.506 0.986	0.176	0.824	0.046
2.0	5	0.513	0.400 0.653	0.146	0.621	0.456 0.829	0.206	0.607	0.428 0.864	0.190	0.553	0.402 0.709	0.108	0.573	0.087
	10	0.595	0.436 0.812	0.201	0.736	0.415 0.931	0.196	0.668	0.499 0.867	0.162	0.712	0.495 0.816	0.151	0.678	0.092
	20	0.666	0.498 0.891	0.170	0.815	0.522 0.956	0.160	0.736	0.555 0.943	0.157	0.776	0.571 0.884	0.119	0.748	0.085
	40	0.733	0.618 0.927	0.123	0.861	0.612 1.022	0.172	0.799	0.641 0.980	0.135	0.814	0.683 0.933	0.080	0.802	0.066
	50	0.776	0.689 0.892	0.088	0.881	0.697 1.047	0.145	0.814	0.618 0.964	0.126	0.826	0.646 0.951	0.113	0.824	0.053
	80	0.788	0.625 0.927	0.100	0.866	0.678 0.988	0.136	0.824	0.618 0.974	0.125	0.837	0.640 0.969	0.109	0.829	0.039

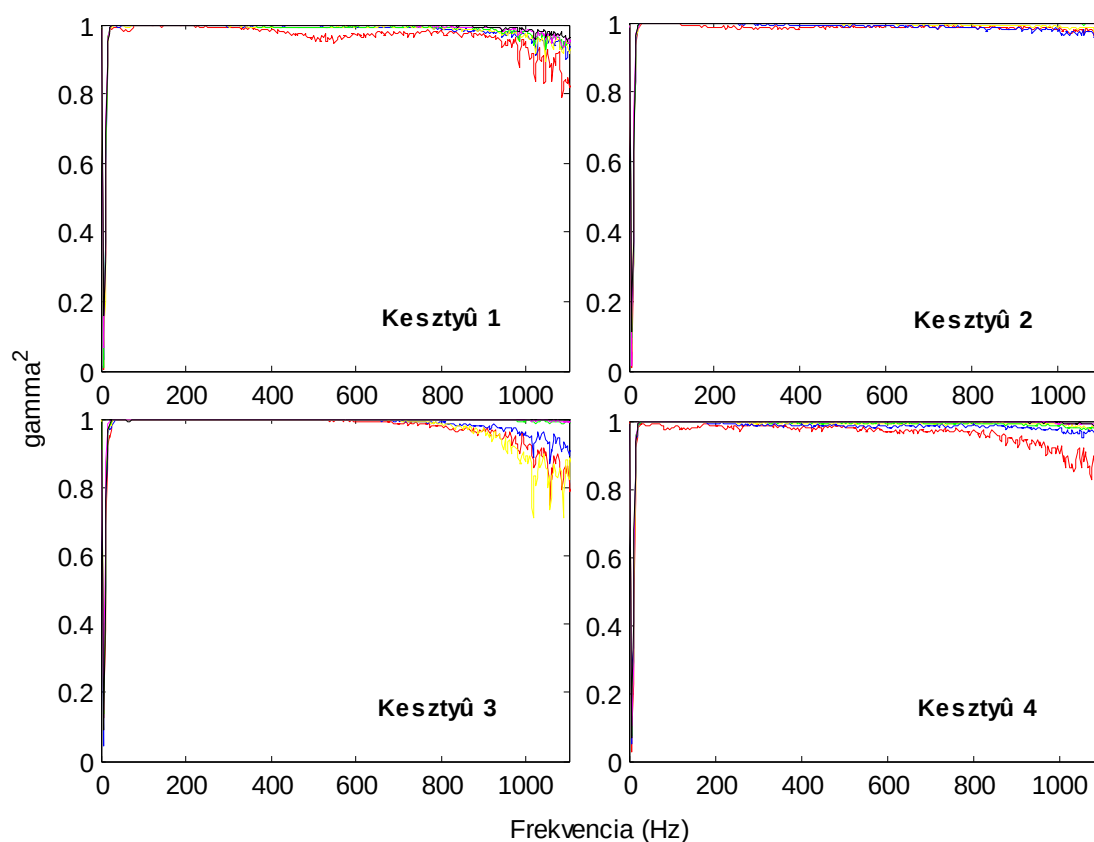


M.8.(a) ábra A bemenő és kimenő jel közötti koherencia 4 kesztűvel és 6 rezgésereősség mellett (12 tesztalany átlaga: — 0.25 ms⁻² r.m.s.; — 0.5 ms⁻² r.m.s.; — 1 ms⁻² r.m.s.; — 2 ms⁻² r.m.s.; — 4 ms⁻² r.m.s.; — 8 ms⁻² r.m.s.).

M.8.(b) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (*p*-érték) a különböző rezgésereősség mellett mért oktávsvonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Friedman teszttel.

Frekvencia Hz	Kesztű 1	Kesztű 2	Kesztű 3	Kesztű 4
16	0.239	0.034	0.054	0.004
31,5	0.019	0.002	0.077	0.866
63	0.081	0.018	0.000	0.001
125	0.567	0.014	0.259	0.010
250	0.630	0.045	0.159	0.063
500	0.153	0.745	0.281	0.007
1000	0.879	0.005	0.312	0.001

9. melléklet



M.9.(a) ábra A bemenő és kimenő jel közötti koherencia 4 kesztűvel és 6 rezgésereősség mellett (12 tesztalany átlaga: — 5 N; — 10 N; — 20 N; — 40 N; — 50 N; — 80 N).

M.9.(a) táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző nyomóerők mellett mért oktávsvávonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Friedman teszttel.

Frekvencia Hz	Kesztű 1	Kesztű 2	Kesztű 3	Kesztű 4
16	0.000	0.000	0.000	0.000
31,5	0.000	0.001	0.000	0.000
63	0.000	0.000	0.000	0.000
125	0.000	0.000	0.000	0.002
250	0.000	0.000	0.000	0.000
500	0.000	0.000	0.000	0.000
1000	0.000	0.000	0.000	0.000

M.9.(b). táblázat Statisztikai szignifikancia szint (p -érték) a különböző nyomóerőkkel mért oktávsvonkénti rezgésátvitel értékeinek összehasonlításakor, Wilcoxon teszttel.

Frekvencia Hz	Nyomóerő	50N			
		Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
16 Hz	5N	0.002	0.002	0.002	0.002
	10N	0.003	0.003	0.002	0.002
	20N	0.008	0.028	0.002	0.002
	40N	0.008	0.041	0.239	0.062
	80N	0.060	0.480	0.556	0.023
31,5 Hz	5N	0.002	0.005	0.010	0.019
	10N	0.005	0.021	0.015	0.045
	20N	0.008	0.583	0.308	0.308
	40N	0.099	0.158	0.724	0.666
	80N	0.239	0.480	0.117	0.410
63 Hz	5N	0.002	0.002	0.002	0.002
	10N	0.002	0.002	0.002	0.002
	20N	0.004	0.028	0.005	0.003
	40N	0.084	0.272	0.937	0.327
	80N	0.327	0.433	0.065	0.583
125 Hz	0,002	0.002	0.004	0.003	0.019
	10N	0.002	0.008	0.002	0.015
	20N	0.002	0.071	0.004	0.388
	40N	0.010	0.010	0.041	0.583
	80N	0.006	0.010	0.695	0.754
250 Hz	5N	0.002	0.002	0.002	0.003
	10N	0.002	0.002	0.002	0.004
	20N	0.003	0.008	0.002	0.117
	40N	0.023	0.028	0.008	0.012
	80N	0.060	0.583	0.002	0.456
500 Hz	5N	0.002	0.002	0.002	0.003
	10N	0.005	0.003	0.002	0.003
	20N	0.017	0.002	0.002	0.005
	40N	0.034	0.003	0.002	0.071
	80N	0.060	0.004	0.002	0.028
1000 Hz	5N	0.002	0.002	0.002	0.002
	10N	0.003	0.002	0.002	0.002
	20N	0.003	0.002	0.002	0.005
	40N	0.055	0.012	0.004	0.005
	80N	0.721	0.556	0.002	0.107

10. melléklet

M.10.(a) táblázat A kézméret és az egyéni rezgésátvitel-értékek közötti összefüggés vizsgálata Spearman korrelációs együttható és szignifikancia szint számításával.

Rezgés spektrum	Statistikai mutatók	Változók	Kesztyű 1	Kesztyű 2	Kesztyű 3	Kesztyű 4
láncfűrész (AV)	korrelációs együttható	Kézméret	0,01	0,359	0,213	0,075
	szignifikancia (2-tailed)		0,977	0,252	0,507	0,817
láncfűrész (nonAV)	korrelációs együttható	Kézméret	0,099	0,363	0,162	0,177
	szignifikancia (2-tailed)		0,761	0,247	0,616	0,581
fűkasza (új)	korrelációs együttható	Kézméret	4	0,418	0,307	-0,051
	szignifikancia (2-tailed)		0,523	0,2	0,331	0,874
fűkasza (régi)	korrelációs együttható	Kézméret	-0,307	0,323	0,102	-0,205
	szignifikancia (2-tailed)		0,331	0,333	0,751	0,523
fűnyíró	korrelációs együttható	Kézméret	-0,456	-0,065	-0,461	0,205
	szignifikancia (2-tailed)		0,217	0,85	0,132	0,523
sövényvágó	korrelációs együttható	Kézméret	-0,205	0	-0,512	-0,205
	szignifikancia (2-tailed)		0,523	1	0,089	0,523

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek Dr. Láng Zoltánnak és Dr. Augusztinovicz Fülöpnek a doktori munkám során nyújtott mind szakmai, mind emberi támogatásért, az értékes tanácsokért és segítségért. Köszönettel tartozom Dr. Széchei Béla Józsefnek, aki figyelmemet a zaj-és rezgésvédelem felé irányította és elindított ezen a pályán. Hálás vagyok a Szigetcsép, Soroksári Kísérleti Telep munkatársainak, illetve mindazoknak a gépkezelőknek és kesztyűtesztben résztvevőknek, akik közreműködésével elvégezhettem a vizsgálataimat.

Külön köszönettel tartozom Michael J. Griffin professzornak, az angliai University of Southampton Human Factors Research Unit tanszékvezetőjének, hogy lehetővé tette az anti-vibrációs kesztyűkkel kapcsolatos vizsgálataim elvégzését, segítette a szakmai fejlődésemet, és hozzájárult az eredmények publikálásához. Az HVLab program kezelésének elsajátításában nyújtott segítségét és türelmét köszönöm Dr. Christopher Lewis kutatónak a Human Factors Research Unit munkatársának.

A géprezgések vizsgálatához szükséges mérőeszközök éveken át tartó biztosításáért mérhetetlen hálával tartozom Józsa Gusztávnak, a Józsa és Társai 2000 Kft. tulajdonosának, akinek az önzetlen segítsége nélkül ez a doktori munka nem jöhetett volna létre.

Hálás vagyok Dr. Karai Jánosné alapítványtevőnek és a Magyar Tudományos Akadémia Agrár-Műszaki Bizottságának, illetve a Southampton Egyetemnek, a Karai János pre-doktori ösztöndíj és az University of Southampton ISVR MSc scholarship odaítéléséért. E két ösztöndíj révén nyílt lehetőségem a szakmai tudásom elmélyítésére Angliában.

Az értekezéstervezet részletes áttekintéséért és a szakmai javaslatokért köszönettel tartozom Dr. Czupry Imrének és Dr. Felföldi Józsefnek. Külön köszönöm Dr. Felföldi Józsefnek és Dr. Fenyvesi László, hogy elvállalta az értekezés bírálatát.

Végül és elsősorban szeretnék köszönetet mondani drága Szüleimnek, akik minden helyzetben mellettem állnak és támogatnak. A doktori értekezést nekik ajánlom.