

# Rezgésvizsgálatok CNC felsőmarógépen

Csanády Etele, Gyurácz Sándor, Németh Szabolcs ✧

## Vibration testing of a CNC router

Recently, vibration testing gained special importance in the area of wood machining, due to the development of lightweight machine structures. Vibrations are important in terms of noise, processing quality, condition monitoring, and even because of possible fractures due to fatigue. The article presents a first-of-a-kind investigation that involved vibration tests under different conditions and related vibrations to surface quality.

**Key words:** Vibrations, Vibration testing, Condition monitoring, Surface quality

### Bevezetés

A technika nagyarányú, gyors fejlődése magával hozta, hogy minden iparágban – így a faiparban is – gyorsjárású, nagy szerszámsebességű, ugyanakkor könnyűszerkezetű, mégis nagyon pontos gépeket alkalmaznak. Ennek következtében a műszaki életnek minden területén találkozunk rezgési jelenségekkel. A rezgések gyakran mint káros jelenségek lépnek fel. Magas zajszint, rossz megmunkálási minőség, esetleg az anyagkifáradás miatti géptörések is jelentkeznek. A rezgésvizsgálatok fontosak gépkarbantartási szempontból is, hiszen a vizsgálatok eredményei az ún. állapotfüggő vagy diagnosztizáláson alapuló gépkarbantartási módszer alapjául szolgálnak.

Méréseinket a fenti bevezető elvek alapján kezdtük meg. Ilyen jellegű vizsgálatok ezidáig még nem történtek.



**1. ábra** – SKF MICROLOG CMVA 40 kétcsatornás adatgyűjtő rezgésanalizátor

Első lépésként a mérések körülményeit alakítottuk ki (hol tudunk mérni, hogyan rögzítjük az érzékelőt, stb). Ezen feltételek körüljárása után végrehajtottuk a méréseket, majd az eredmények alapján minősítettük a gépet. A rezgésmérések mellett a munkadarab érdesség vizsgálatát is bevontuk a gépparaméterek mélyrehatóbb vizsgálatára érdekében.

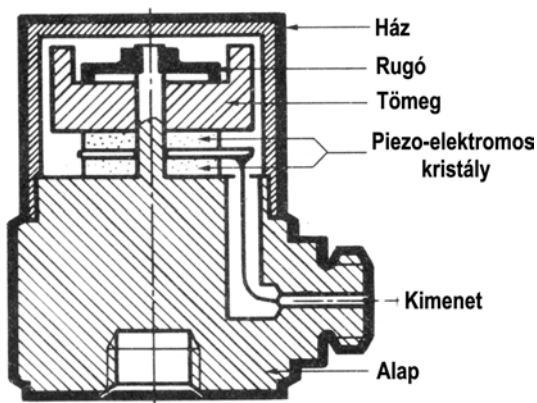
### A rezgésvizsgálatok programja és metodikája

A rezgésvizsgálatokat egy Reichenbacher gyártmányú, RANC-207 AMW típusú CNC vezérlésű felsőmarógépen végeztük a következők szerint:

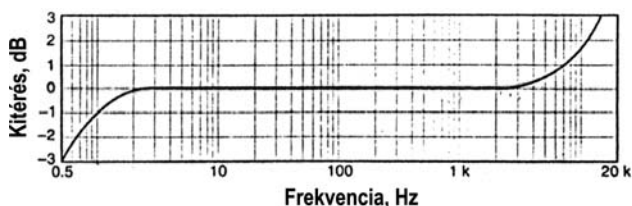
- Rezgésvizsgálatokat végeztünk a gép üresjáratában, különböző kialakítású és méretű szerszámokkal.
- Rezgésvizsgálatokat végeztünk forgácsolás közben a gépen.
- Rezgésvizsgálatokat végeztünk a munkadarabokon is, forgácsolás közben.
- Összefüggést kerestünk a megmunkált munkadarabok felületi érdessége és a gép-rezgések mértéke között.
- A felsőmarógépet minősítettük a géprezgés-diagram alapján.

A rezgésvizsgálatokhoz egy SKF gyártmányú MICROLOG CMVA 40 típusú, kétcsatornás adatgyűjtő rezgésanalizátort használtunk (**1. ábra**). A CMVA 40 típusú adatgyűjtő minden, az állapotfüggő karbantartás által igényelt feladatot képes végrehajtani. Dinamikus (rezgés) és statikus adatokat egyaránt bármilyen forrásból tud gyűjteni. Az adatgyűjtő funkcióin túlmenően a MICROLOG nagyon hatékony

✧ Dr. Csanády Etele CSc. egy. docens, Dr. Gyurácz Sándor ny. egy. adjunktus, Németh Szabolcs doktorandusz hallgató, NyME Faipari Gépészeti Intézet



2. ábra – Piezoelektromos gyorsulásérzékelő



3. ábra – A gyorsulásérzékelő frekvenciamenete



4. ábra – A gyorsulásérzékelő rögzítése a szerszámtengely csapágyazásán



5. ábra – A 16 mm átmérőjű spirál élű szerszám



6. ábra – A 60 mm átmérőjű egyenes élű szerszám

elemző és feladat végrehajtó tulajdonságokkal rendelkezik. Képes részletes analízisre, tartalmazza a frekvenciatartomány-beli nagyítás lehetőségét, a nagyfelbontású frekvenciaspektrum megjelenítést többféle triggereléssel (adatgyűjtés szabályozás), és alkalmas tranziensek (időben állandóan változó jelek) mérésére is. A gyors Fourier transzformációval (FFT) készült frekvenciaspektrum és az időtartománybeli hullámformák egyaránt megjeleníthetők a műszer folyadékkristályos (LCD) képernyőjén.

Az adatgyűjtő rezgésanalizátorhoz érzékelőként egy CMSS 793 típusú piezoelektromos gyorsulásérzékelőt csatlakoztattunk. A gyorsulásérzékelő szerkezeti felépítését a 2. ábra mutatja. A piezoelektromos gyorsulásérzékelő tipikus frekvenciamenete látható a 3. ábrán.

Az utóbbi években a piezoelektromos gyorsulásérzékelők váltak a géprezgés mérések legelterjedtebben alkalmazott jeladóivá a kiemelkedően széles frekvencia- és dinamikus tartományokban, a kis külső méretek, a hosszú távú megbízhatóság (nem tartalmaz mozgó részeket) és az általános mechanikai stabilitás miatt. Minthogy sok ellenőrzési feladat jóval 1000 Hz feletti frekvenciasávok vizsgálatát, valamint 1000:1-nél lényegesen nagyobb közvetlen vibrációs amplitúdó vizsgálatát teszi szükségessé, az egyedüli praktikus választás a piezoelektromos gyorsulásérzékelő.

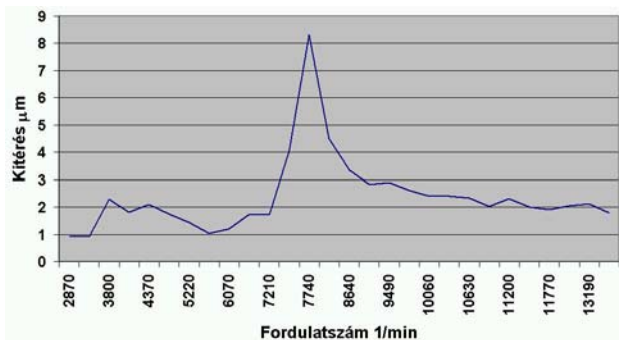
A piezoelektromos gyorsulásérzékelőt mágneses talp segítségével a CNC felsőmarógép szerszámtengely csapágyazásának előre kiválasztott pontjaira rögzítettük a mérések során. E rögzítési módot mutatja a 4. ábra.

A rezgésértékeket három irányban (X, Y és Z) vizsgáltuk a gép különböző fordulatszámainál. A mért adatokból a diagramokat a Microsoft Excel program segítségével készítettük el.

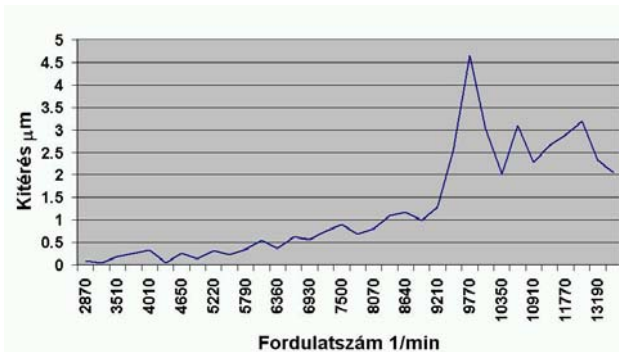
### ***Rezgésvizsgálatok a gép üresjáratában különböző kialakítású és méretű szerszámokkal***

A szerszámok kiválasztásánál az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- forgácsoláskor egyenes élt lehessen velük marni,
- kialakításuk, felépítésük (alak, tömeg) különbözzön egymástól.



7. ábra – Rezgés kitérés diagram Y irányban



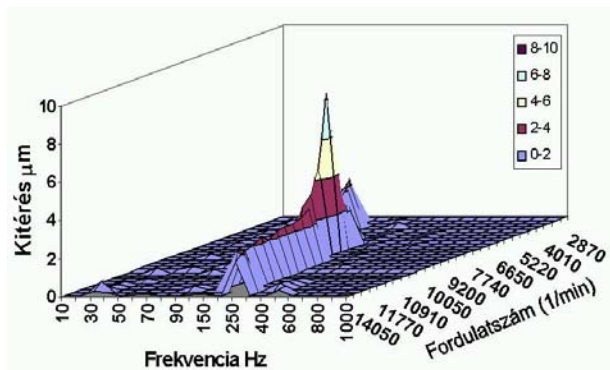
8. ábra – Rezgés kitérés diagram X irányban

E szempontok alapján a választás egy LEITZ gyártmányú, 16 mm átmérőjű, három élű, hosszú kivitelű spirális (5. ábra) és egy WIGO gyártmányú 60 mm átmérőjű, hengeres kialakítású két betétkéses szerszámra esett (6. ábra). Mindkét szerszám esetében három irányban (X, Y, Z) mértük a rezgés kitérését a gép különböző fordulatszámú üzeme közben. Rezgés kitérés tekintetében a 60 mm átmérőjű szerszám alkalmazásánál nagyobb értékeket kaptunk. Ez valószínűleg a szerszám nagyobb tömegének tudható be, vagyis a kiegyensúlyozatlanság nagyobb mértékének. A 60 mm-es átmérőjű szerszám X és Y irányú rezgés kitérés értékeit mutatják a 7-10. ábrák.

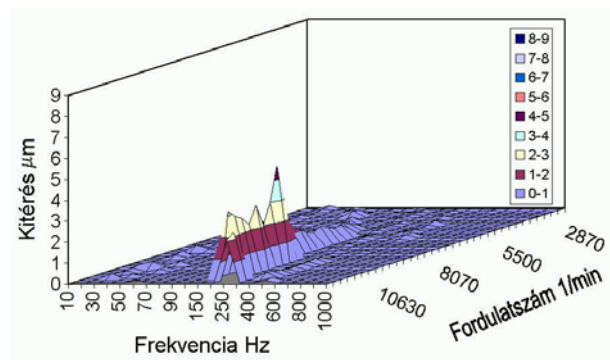
Az ábrákról pontosan le lehet olvasni a maximális kitérés (amplitúdó) értékeket és azok helyeit. Az is látható, hogy az Y irányban mért rezgés kitérés maximuma nagyobb, mint az X irányban mért érték.

### Rezgés vizsgálatok a gépen forgácsolás közben

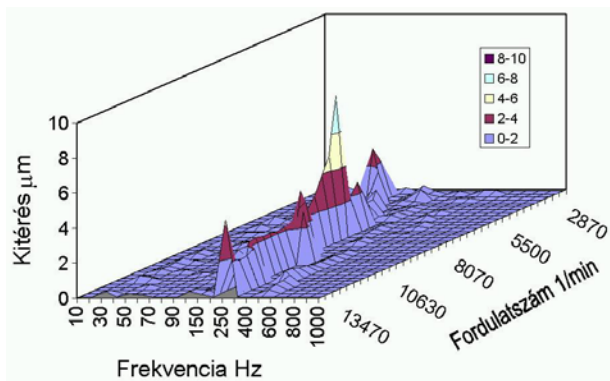
A forgácsoláshoz bükk fafajt választottunk, melyet tompa élillesztéssel táblásítottunk. A szerszám előtolási sebességét 3000 mm/min-re, a fogásmélységét 1 mm-re állítottuk be a



9. ábra – Rezgés kitérés a frekvencia és fordulatszám függvényében, üres járatban, Y irányban



10. ábra – Rezgés kitérés a frekvencia és fordulatszám függvényében, üresjáratban, X irányban



11. ábra – Rezgés kitérés a frekvencia és fordulatszám függvényében, forgácsoláskor, Y irányban

gépen. A méréseket ugyanolyan műszerbeállítással végeztük, mint üresjáratban. A forgácsolás közbeni vizsgálatokat a 60 mm átmérőjű szerszámmal végeztük. A szemléletes ábrázolás érdekében a mért értékeket három dimenzióban ábrázoltuk, a Microsoft Excel program segítségével. A forgácsolás közben Y irányban mért kitérés értékeket, 60 mm átmérőjű szerszám használata esetén mutatja a 11. ábra.

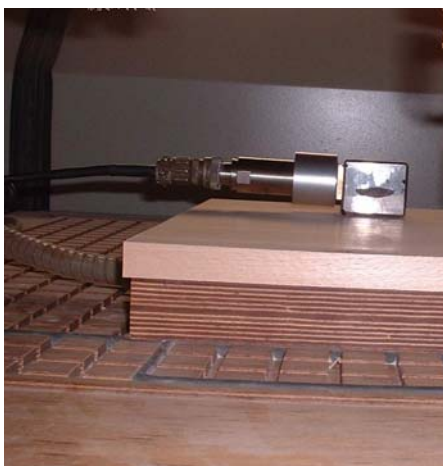


A 11. ábrán jól követhető az egyes fordulatszámokhoz tartozó sajátfrekvencia változás. Jól látható az amplitúdó értékek változása is a fordulatszám és a frekvencia függvényében. Leolvasható a maximális kitérés, és megállapíthatjuk azt is, hogy forgácsoláskor magasabb kitérés értékeket kaptunk, mint üresjáratban. Mindkét esetben, forgácsolás közben és üresjáratban is azonos fordulatszámnál jelentkezik a maximális amplitúdó. Azt is meg lehet figyelni az ábrán, hogy forgácsolás közben a felharmonikus rezgésértékek nagyobbak és „szórtabb” elhelyezkedést mutatnak, mint üresjáratban.

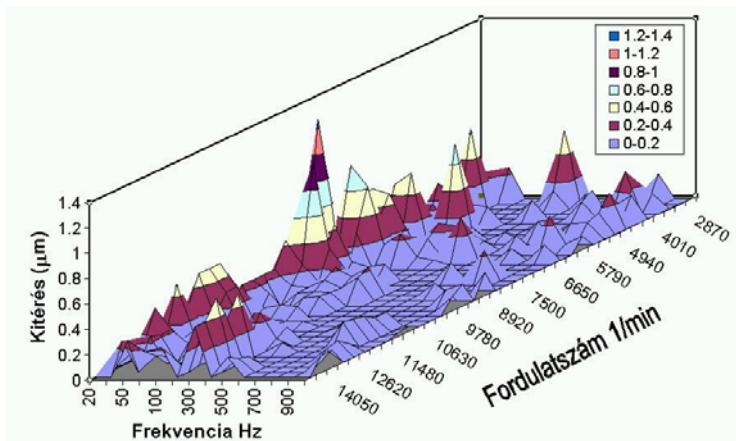
### Rezgésvizsgálatok a munkadarabokon forgácsolás közben

A forgácsoláshoz bükk faanyagot választottunk, mivel szövetszerkezete viszonylag homogénnek tekinthető, és jól lehet forgácsolni. Másrészt a felületi érdességmérést csak kis mértékben befolyásolják az átvágott edények, mivel azok a bükknél kis méretűek. Ez a tény nagyon fontos, mert az anatómiai érdesség a homogén szerkezet miatt csak kis mértékben befolyásolja a tényleges érdességet.

Méréskor olyan rögzítési módot kellett keresni az érzékelő részére a faanyagon, amely nem torzítja el a mérési eredményeket. Így egy fémkockát két facsavar segítségével rögzítettünk a forgácsolandó faanyagra és erre helyez-



12. ábra – A gyorsulásérzékelő rögzítése a munkadarabra



13. ábra – Rezgés kiterés a frekvencia és fordulatszám függvényében, munkadarabon, X irányban

Jel	Megnevezés		A kiértékelés
$R_z$	közepelt érdesség	$R_z = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$	
$R_{max}$	maximális érdesség	legnagyobb érték a mérési szakaszban	
$R_a$	közepes érdesség	$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m}  y  dx$	
$W_i$	hullámmélység	a profil magassága az érdesség kiszűrésével	

14. ábra – Érdesség értékelési módszerek

tük a piezoelektromos gyorsulásérzékelőt mágneses talp segítségével. Ez látható a **12. ábrán**. A mérési eredményeket három dimenzióban ábrázolva a **13. ábra** mutatja.

A mérési eredmények az alsó frekvenciatartományban eléggé szórta helyezkednek el, és aránylag magas értékeket mutatnak a magasabb frekvencia tartományhoz képest. Egy-egy kiugró érték azonban található a magasabb frekvenciatartományban is. Az előző mérésekhez viszonyítva nagyon jól látszik, hogy a munkadarabrezgésnél nem figyelhető meg a sajátfrekvencia vonalvezetés, amely üresjáratban, illetve forgácsoláskor még megvolt. Az értékek nagyságát tekintve alacsonyabb amplitúdókat mértünk, mint szerszámrezgéseknél. Az alacsonyabb értékek valószínűleg a munkadarabok gépasztalra történő jó vákuumos rögzítésével magyarázhatók.

### ***A megmunkált munkadarabok felületi érdességének vizsgálata és annak összefüggése a rezgésértékekkel***

A felületi minőséget általában az érdességgel és a hullámossággal jellemezzük (Sitkei 1994). A felület érdességének mérési módszerei közül legáltalánosabban a mechanikus tűs letapogatókat, az ún. perthométerekeket alkalmazzák, illetve lézeres letapogató rendszerekkel (lézer fókusz eljárás, illetve lézer triangulációs eljárás) folynak kísérletek (Magoss 2000). Az értékelés szabványos módszereit a **14. ábrán** láthatjuk (a DIN 4768 számú szabványnak megfelelően). Leggyakrabban az  $R_z$  közepelt érdességet használjuk, amely durván négyszerese az  $R_a$  közepes érdesség értékének.

Érdesség mérésére MAHR gyártmányú S 2 típusú perthométert használtunk, amely

szintén egy mechanikus tűs letapogató rendszer. Az S 2 típusú perthométer 17,5 mm hosszúságban tapogatta le a forgácsolt felületet és a mért profilt felnagyítva rajzolta meg. A műszer a kiértékelést is elvégezte. Ebből az  $R_z$  közepelt érdesség értékeket használtuk a kiértékeléshez. A mért közepelt érdesség értékeket az **1. táblázat** tartalmazza.

Ha azt vesszük alapul, hogy normál maró és gyaluszerszámokkal éles állapotban  $R_z = 20-30 \mu\text{m}$  felületi érdesség érhető el, akkor a felsőmarógéppel megmunkált felület ennél az értéknél jobbnak minősül. Ha az érdesség alapján megállapított osztályokat vesszük figyelembe, akkor az 5-ös osztályba sorolhatjuk a felsőmarógéppel megmunkált felületek érdességét (**2. táblázat**).

A mért alacsony érdességi értékeket az alábbi tényezők indokolták:

- éles szerszám alkalmazása,
- magas fordulatszámokon végzett forgácsolás,
- kis forgácsvastagság (1 mm),
- a munkadarabok jó vákuumos lefogása a gépasztalra a megmunkálás közben,
- a felsőmarógép alacsony rezgésszintje (a gép a „finom” és a „nagyon finom” rezgésamplitúdós besorolása az általános rezgésdiagram alapján).

Összefoglalva, arra a következtetésre jutottunk, hogy a Reichenbacher gyártmányú RANC-207 AMW típusú CNC vezérlésű felsőmarógéppel megmunkált munkadarabok felületi érdességét elsősorban a szerszám kiegyensúlyozottságának mértéke és a választott forgácsolószerszám élkör-futás pontossága határozza meg.

**1. táblázat** – Közepelt érdesség értékek

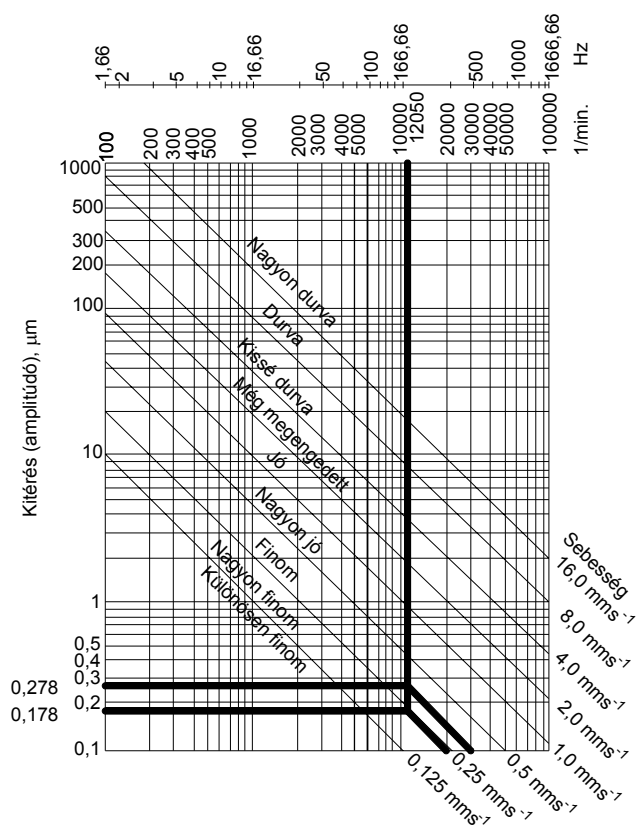
Fordulatszám 1/min	Közepelt érdesség $R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
2870	19,1
6070	20,4
9200	15,9
12050	16,5

**2. táblázat** – Érdesség osztályok

Osztály	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
1	80	320
2	40	160
3	20	80
4	10	40
5	5	20

**3. táblázat** – Rezgéskitérések

Fordulatszám 1/min	Rezgéskitérés $\mu\text{m}$	
	X irányban	Y irányban
2870	0,044	0,028
6070	0,055	0,035
9200	0,191	0,121
12050	0,278	0,178
15250	0,127	0,078



15. ábra – Géprezgés minősítő diagram

### A felsőmarógép minősítése a géprezgés diagram alapján

A gépkarbantartásban általánosan elfogadott rezgésdiagram segítségével a mért rezgés kitevések alapján a gépek – a beépített teljesítménytől, illetve a gerjesztő források számától függetlenül – minősíthetők (Lipovszky és tsai. 1988). A felsőmarógép minősítéséhez szerzőszámbejegyzés nélkül a szerzőszám tartó tokmányon

végeztünk rezgés méréseket, szintén X és Y irányban. A mérési eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. Az általánosan elfogadott géprezgésdiagram látható a 15. ábrán.

Megkeresve a diagramban a gépen mért rezgés kitevés értékek tartományát és az értékekhez tartozó gerjesztőfrekvencia tartományt, láthatjuk, hogy a Reichenbacher gyártmányú RANC-207 AMW típusú CNC vezérlésű felsőmarógép a „finom”, illetve a „nagyon finom” minősítést kapta.

### Összefoglalás

A különböző rezgés vizsgálatok és felületi érdesség mérések eredményeit összevetve megállapítható, hogy a rezgések és a felületi érdesség közt a vizsgált gépnél összefüggés nehezen mutatható ki. A leírt vizsgálatok a maguk nemében az elsők voltak, így azokat szeretnénk folytatni különböző feltételek mellett és különböző típusú gépeken is.

### Irodalomjegyzék

1. SKF Condition Monitoring. 1993. MICROLOG Gyakorlati segédlet, Budapest.
2. Sitkei Gy. 1994. *A faipari műveletek elmélete*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft, Budapest 337-392 old.
3. Magoss E. 2000. *Természetes faanyag anatómiai felépítésének hatása a felületi minőségre marási művelet esetén*. Doktori (Ph.D) értekezés. Sopron, 7-24 old.
4. Brüel-Kjær: 1984. *Mechanical Vibration and Shock Measurements* 370 old.
5. Lipovszky G., Sólyomvári K., Varga G. 1988. *Vibration Testing of Machines and their Maintenance*. Akadémiai Kiadó, Budapest.