



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

RODENBÜCHER TIBOR

2025

DUNAÚJVÁROSI EGYETEM



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI
DOLGOZAT**

***RÁZÓGÉP
KIEGYENSÚLYOZATLANSÁGÁNAK
KORRIGÁLÁSA***

**Témavezető:
DR. PÓR GÁBOR**

**Hallgató:
RODENBÜCHER TIBOR
GÉPÉSZMÉRNÖKI
(MESTERKÉPZÉS)
2025**

Rezümé:

Az Ecotech Nonprofit Zrt. Műszaki Igazgatóságának Élettartam Vizsgálólaboratóriumában (ÉVL) rázó gép segítségével végzünk vibrációs tesztek. Ezeknek a vizsgálatoknak szabványoknak kell megfelelni. Fontos, hogy a tesztelt darabok az előírt terhelési paramétereket kapják meg, mert ha a rázórendszer kiegyensúlyozatlan, akkor megemelkedhetnek a keresztirányú kilengések és ezáltal helytelenül terheljük a mintadarabot.

Korábbi szakdolgozatomban egy kiegyensúlyozatlan kockát vizsgáltam. A TDK dolgozatomban jelentősen továbbfejlesztettem a szakdolgozatomban elért eredményeket. A korábbi sikeresnek mondható első kiegyensúlyozásokat tovább gondolva szisztematikusan vizsgáltam a kiegyensúlyozás hatásait.

A TDK dolgozat bemutatja milyen gépekkel végzünk el egy rázás vizsgálatot az ÉVL-ban. Ismerteti a korábbi eredményeket, majd rátér arra, hogyan lehet hasznosítani a különböző kiegyensúlyozásra alkalmas ellensúlyokat, amelyeket a gyakorlatban a kiegyensúlyozás során tapasztaltak alapján terveztem meg.

A kiegyensúlyozó alkatrészek alkalmasságát, mérésekkel demonstráltam.

Tartalom

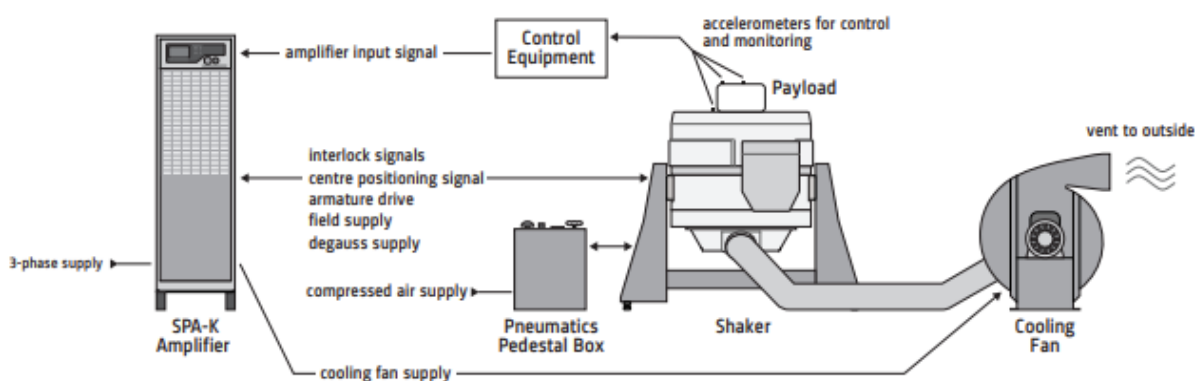
1. Bevezetés	1
2. Rázógép, mérőeszközök	1
2.1. A rázó rendszer felépítése.....	1
2.2. Gyorsulás érzékelők	3
3. Rázó vizsgálatok típusai	5
3.1. Szinuszos rázás	5
3.2. Véletlenszerű (random) rázás	6
4. Kiegyensúlyozás	7
4.1. Összeszerelés, szenzorok elhelyezése	7
4.2. Kiegyensúlyozott kocka	8
4.3. Kiegyensúlyozatlan kocka.....	10
5. Kiegyensúlyozó ellensúlyok tervezése, gyártása.....	20
6. A kiegyensúlyozáshoz tervezett ellensúlyok alkalmazása	22
7. Összegzés	26

1. Bevezetés

Az Ecotech Nonprofit Zrt. Műszaki Igazgatóságának Élettartam Vizsgálólaboratóriumában szabványoknak megfelelő vibrációs, klíma- és hősokk tesztek végzünk. [1] Vizsgálataink elsősorban autóiipari alkatrészekre terjednek ki, mint például motorvezérlők, műszerfalak és akkumulátorsaruk, de gyakran más termékek is előfordulnak, mint közúti lámpák vagy úripari eszközök. A beépített elemek mesterséges öregítését és terhelését a szakmai gyakorlat szerint rázással és hőterheléssel valósítjuk meg. A rázási és termikus profilok teljesítéséhez elengedhetetlen a rázógép és a hőkamra használata.

2. Rázógép, mérőeszközök

2.1.A rázó rendszer felépítése



1.ábra

A rázó rendszer felépítése [2]

- Hűtőventilátor
- Pneumatika doboz
- Vezérlő számítógép
- Vezérlő egység
- LDS V875-440-SPA-40K rázógép és erősítő

A rázógép elektromágneses elven funkcionál, elektromos energiát alakít mozgási energiává. [3]

V875 rázógép	
Armatúra átmérő:	440 mm
Max erő kifejtés szinuszterheléskor:	35,6 kN
Max erő kifejtés véletlenszerű terheléskor:	35,6 kN
Max erő kifejtés mechanikai shock terheléskor:	106,8 kN
Maximális kitérés:	50,8 mm
Maximális sebesség:	1,8 m/s
Maximális gyorsulási érték véletlenszerű rázás esetén:	1080 m/s ² (110g _n)
Maximális gyorsulási érték szinusz terhelés esetén:	735,5 m/s ² (75g _n)

1.Táblázat
LDS I rázógép specifikáció

Leggyakrabban random tesztek végzünk, amelyek maximum 2000 Hz-ig terjednek. Ez a terhelés szempontjából ideális, mivel az LDS V875-ös rázógép 5 és 3000 Hz között képes működni. Fontos kiemelni, hogy a rázógép sajátfrekvenciája 2650 Hz-nél van, de terhelés hatására ez akár 2000 Hz alá is csökkenhet. A rázógép maximálisan 600 kg-os tömeggel terhelhető.



2.ábra
LDS I gépcsoport (saját kép)

Az armatúra és a rázógéptest uralkodó elektromágnesestér kölcsönhatásai hozzák létre a rezgőrendszert. Az erősítő váltakozóáramot táplál az elektromágneses tekercsekbe, amikor változik az áramerősség a tekercsben, akkor a mágneses tér iránya és erőssége változik. Így létre jön egy mágnesestér és ez biztosítja az armatúra vezérelhető mozgását. [4]

2.2. Gyorsulás érzékelők

Nélkülözhetetlen kellék, hiszen a mozgást a gyorsulásérzékelő mért jeleinek segítségével irányítja a vezérlő számítógép. Továbbá információt is kaphatunk a keresztirányú rezgésekről.

Gyorsulás érzékelők felépítése, működésével

A gyorsulásérzékelő szenzorok működési elve, hogy a tömeg és az alap közé van szorítva egy piezoelektromos kristály, ami, ha nyomás alá kerül, akkor feszültség ébred, és ez elektromos töltéseket gerjeszt a felületen. [5]

Egyirányú és Triaxiális, azaz Háromirányú szenzorok léteznek. A háromirányú szenzorok előnye, hogy keresztirányokban is mérni lehet a rezgéseket. Hátránya, hogy csak egy darab piezoelektromos kristály van a triaxiális szenzorban, ugyan úgy, mint az egyirányú gyorsulásérzékelőben így kevésbé megbízható az egyirányú szenzorral szemben.

Mire tudjuk használni az érzékelők jelét?

A program megszakítására (abort)

Ha a gyorsulás érzékelők vezérlő jelei oly mértékben meghaladják a megadott profil $\pm 6\text{dB}$ -es határát, hogy a kontrol jel is kilóg a $\pm 6\text{dB}$ -ból, a teszt azonnal leáll. Ennek egyik oka lehet a szenzor fellazulása, vagy a szenzorvezeték megtörése is.

Figyelmeztető jelzés (alarm)

Ha a gyorsulás érzékelők által szolgáltatott vezérlő jelek kívül esnek a profil $\pm 3\text{dB}$ -es határából figyelmeztető jelzést ad a szoftver.

Kontrol

Ha az érzékelőt a vezérlő csatornákra alkalmazzuk, akkor ezekkel a csatornákkal követjük jó esetben a profilban megadott értékeket. Vezérelhetünk minimumról, maximumról és súlyozott átlagról. A minimumról vezérlés lényege, hogy a kontrol jelet a legalacsonyabb amplitúdóval rendelkező szenzor adja. A maximum ennek a fordítottja. A súlyozott átlag pedig a vezérlő csatornák átlagának a jelét adja, ez lehet 2, 4 vagy több csatorna is.

Monitor

A vezérlő csatornák gerjesztéseire adott válasz reakciót mutatják ezeket a csatornákat, keresztirányú rezgések megfigyelésére használjuk. Ha kiugró amplitúdó változást észlel leállítja a tesztet.

Válasz jelek (Response)

Ezek szintén vezérlő csatornák gerjesztéseire adott válasz reakciókat mutatják és ezeket is a csatornák, keresztirányú rezgéseinek a megfigyelésére használjuk. A különbség az, hogy kiugró amplitúdók esetén sem állítják le a tesztet.

Letiltott-csatorna (Disable)

Ha a csatornát nem kívánjuk használni, akkor le kell tiltani.

Vezérlőjel (Drive)

A rázó gép feladata különböző rezgések előállítása. Az ehhez szükséges energiatartalmú feszültséget (és áramot) a teljesítményerősítő állítja elő. Azonban a nagy teljesítményű „jel” előállításához elengedhetetlen, visszacsatolásos szabályozással korrigálandó vezérlőjel előállítása a rázó gépvezérlő egységre hárul. Lényegében a vezérlő jel adja meg a rázó gép által kiadott energiát. Általában a profilnak megfelelően vezérli a rázó gépet. Például csökkenti az energiát amikor rezonanciában van, mivel a sajátfrekvencia kis gerjesztésre nagy amplitúdó változást eredményez, ezért kevesebb energia szükséges az armatúra mozgatásához.

3. Rázó vizsgálatok típusai

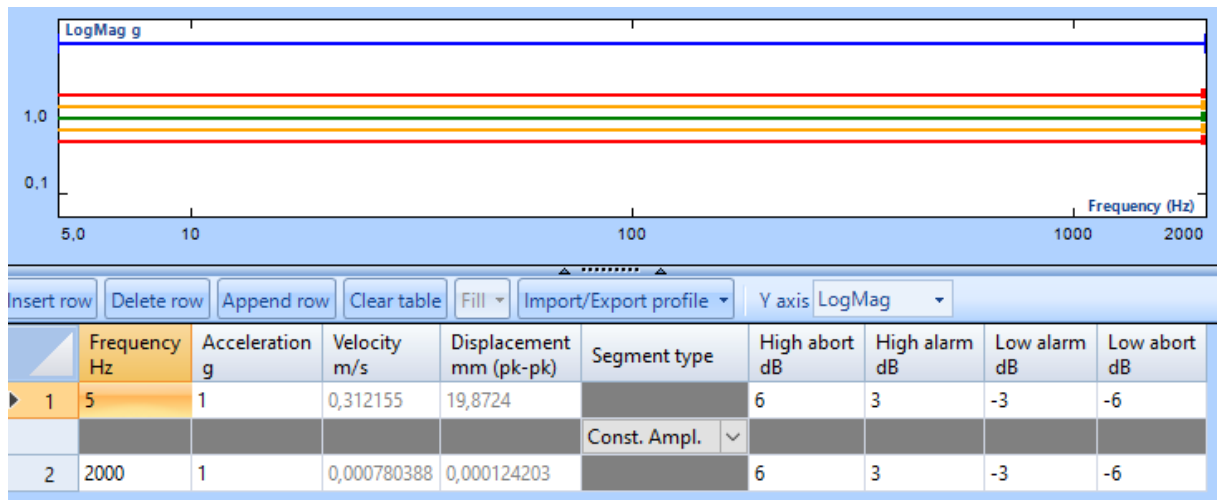
- Szinuszos
- Véletlenszerű (Random)
- Kevert rázás (szinusz és random egyszerre)
- Mechanikai shock teszt [6]

A TDK dolgozatomban ezek közül kettőt emelek ki a szinusz és a véletlenszerű rázást.

3.1. Szinuszos rázás

A vizsgálat célja, hogy meghatározzuk a mintadarabok mechanikai gyengeségeit és/vagy romlását a minta meghatározott tulajdonságainak figyelembevételével. Az így nyert információkat a vonatkozó specifikációval összhangban használjuk fel annak érdekében, hogy megállapítsuk a minták elfogadhatóságát. Bizonyos esetekben a vizsgálati módszer alkalmazható a minták mechanikai szilárdságának igazolására, valamint azok dinamikus viselkedésének tanulmányozására is.

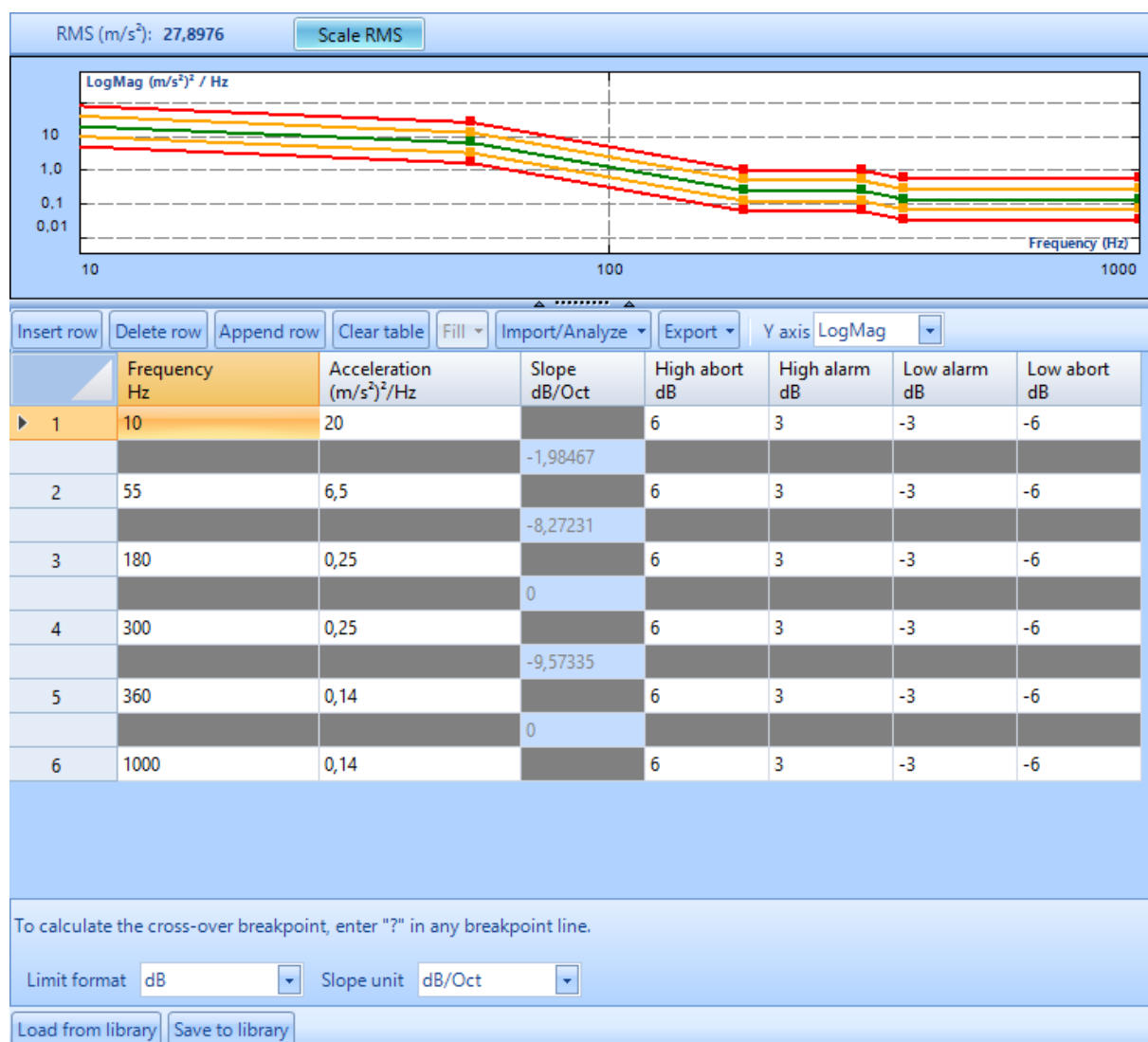
Szinuszos rázás során a rázógép egy meghatározott frekvenciatartományban pásztáz. A rázógép mozgása szinuszos mintázatot követ, de a rezgés frekvenciája a vizsgálat során folyamatosan növekszik vagy csökken. A vizsgálatot végző operátor a vonatkozó követelmények szerint állítja be a szinuszos rázás profiljának paramétereit, amelyek meghatározhatók a frekvenciatartomány és az amplitúdó megadásával.



3.ábra
Pásztázó szinusz profilja (programból kivágott kép)

3.2. Véletlenszerű (random) rázás

A véletlenszerű vibráció az egyik legfontosabb tesztforma, mivel a való életben előforduló rezgéseket szimulálja, például az úthibákból vagy fogaskerekerek érintkezéséből származó rezgéseket. A szinusz tesztekkel szembeni előnye, hogy egyidejűleg az összes frekvencián rezeg, míg a szinusz teszt csak egy adott frekvenciára koncentrál. A véletlenszerű rázás profiljában beállíthatjuk, hogy a különböző frekvenciatartományokban milyen amplitúdóval rezegjen a rázógép armatúrája. A random teszt szabványa meghatározza, hogy 500 Hz alatt a keresztirányú rezgések amplitúdója nem haladhatja meg a főirányú gerjesztési profil -6 dB-es mértékét, míg 500 Hz felett a keresztirányú rezgések nem léphetik túl a -3 dB-es határt.



4.ábra
Véletlenszerű rázás profilja (programból kivágott kép)

A 4.ábra grafikonján látható zöld színű vonal a profilt jelöli, az alsó sárga a -3dB a felső sárga a +3dB-t jelöli. Valamint az alsó piros színű a -6dB-t és a felső piros a +6dB-es határt jelölik.

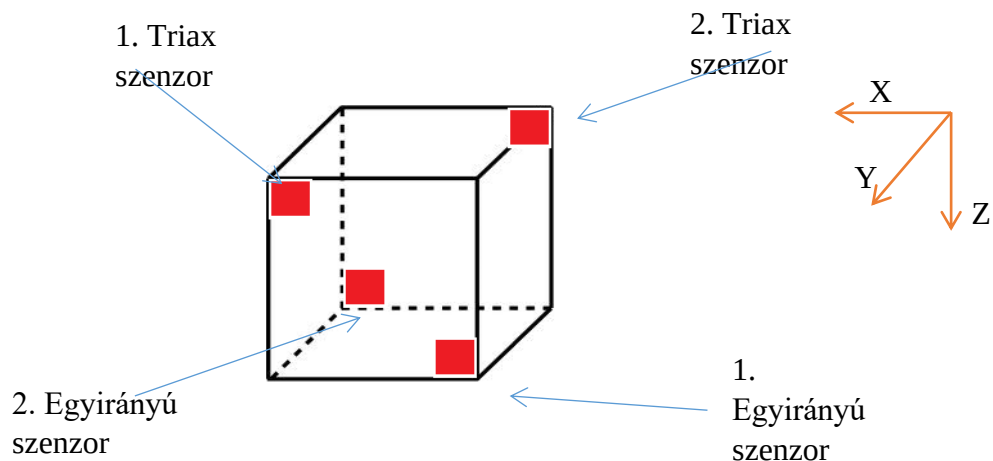
4. Kiegyensúlyozás

4.1. Összeszerelés, szenzorok elhelyezése

A rázásra vonatkozó munkautasítás alapján helyeztem fel a kockát a rázógépre. A befogókészüléket az előírásoknak megfelelően pozicionáltam, majd 25 Nm-es nyomatékkal rögzítettem a rázógéphez. Ezt követően a befogókészülékre rögzítettem a rázásra szánt terméket (jelen esetben az ellensúlyokat).

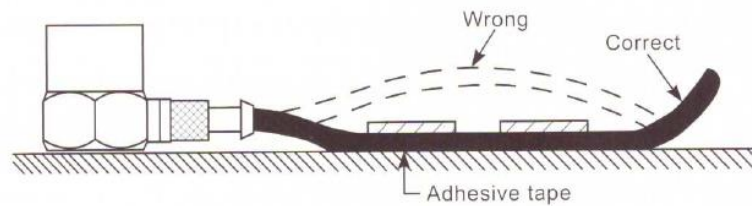
Minden esetben két egyirányú és két triaxiális mérőszenzort szükséges használni a mérések során. Az egyirányú szenzorok a befogó alsó átlójára kerültek, míg a triaxiális szenzorok a befogó felső átlójára rögzítendőek. Fontos megjegyezni, hogy az alsó és felső átlónak, ahova a szenzorok kerültek, minden esetben merőlegesnek kell lennie egymásra!

Az alsó egyirányú szenzorokat a kocka aljára speciálisan erre a célra tervezett tuskóra rögzítettem. A tuskót egy M8-as csavarral rögzítettem. A tuskók úgy vannak kialakítva, hogy egy „hatlapú henger” közepén van egy átmenő furat és a tetején kivan alakítva egy 10-32-es UNF mentes furat, amelyhez egy 10-32-es UNF menetesszár csatlakozik. Ennek a szárnak a másik végére a gyorsulásérzékelő szenzor kapcsolódik. A háromirányú szenzorokat általában petro wax segítségével rögzítjük, de jelen esetben speciális pillanat ragasztó segítségével rögzítettem a triaxiális szenzorokat.



5.ábra
Mérőszenzorok elhelyezésének módja
(Munka utasításból kivágott kép)

Ezután következett a gyorsulásérzékelők mérőkábeleinek a rögzítése. Az MSZ EN 60068-2-6:2008 szabványnak megfelelően, rögzítettem a szenzorkábeleket. Az első rögzítési pontnak a lehető legközelebb kell elhelyezkednie a szenzor csatlakozásához, oly módon, hogy a mérőkábel ne feszüljön meg túlságosan és ne sérüljön az esetleg túl kicsi hajlítórádiusz miatt.



6.ábra

Szenzor mérőkábelének rögzítése (Munka utasításból kivágott kép)

Kontrol stratégia: Súlyozott átlag (Weighted Average) (rázó irányban elhelyezkedő szenzorokra vonatkozóan (MSZ EN 60068-2-6 4.1.2.1 és MSZ EN 60068-2-80 5.1.1))

Eszerint a kocka alsó két átlósan elhelyezkedő a rázás főirányának megfelelő jeleknek, valamint a kocka tetején lévő két átlósan, az előző irányra merőleges, érzékelőknek szintén a rázás főirányába eső jeleinek az átlagát képezzük a kontrol jel számításánál általában azonos súlyfaktoral.

A mérések figyelemmel kísérésére, két külön diagramot kell megjeleníteni a programban. Az első diagramnak tartalmaznia kell a teljes profilt, az Abort illetve Alarm limiteket, a Kontrol jelet, a vezérlő (Drive) jelet, illetve az összes rázás irányban elhelyezkedő mérőcsatornát. A második diagramon a keresztirányoknak külön kell szerepelniük a felső és alsó Abort limitekkel együtt.

4.2. Kiegyensúlyozott kocka

Az előírások, specifikációk azt írják elő, hogy három egymásra merőleges irányban kell elvégezni a vizsgálatokat. Döntő többségben ezért három mintát küldenek rázóvizsgálatra. Az első lehetőség, hogy egy terméket egy irányban tesztlünk. Nagyobb minták esetén az jellemző, hogy egy mintát csak egy irányban kell tesztelni. Általában kisebb méretű alkatrészeket tesztlünk, amelyeknek nagysága 25x150x200 mm. Ezekre a mintákra nagyrészt az van előírva, hogy mind három irányban el kell végezni a tesztet. Amennyiben a rázási paraméterek minden irányban megegyeznek, kocka alakú megfogót alkalmazunk. A kocka jobb oldalára X, a bal oldalára X irányhoz nézve 90°-kal elforgatva Y irányban és a tetején Z irányban helyezkednek el a minták. Ebben az esetben a kocka kiegyensúlyozottnak mondható, mert nagyjából szimmetrikusan terhelik a rázó gép armatúráját. Azonban vannak olyan esetek is, amikor irányonként különbözőek a rázási paraméterek. Ilyenkor háromszor kell egyesével tesztelni Z irányban. Majd egyszerre 3 mintát X és 3-at Y irányban. Az X és Y irányú teszteknel a kocka jobb, bal és elején helyezkednek el a minták. Ezesetben a rázórendszer kiegyensúlyozatlanná válik ezért gondoskodni kell ennek kiküszöböléséről. Mivel ekkor jelentősen terheljük a rázó gépet és a keresztirányú rezgések amplitúdója jelentősen megnőhet. [7]

A leggyakrabban használt ún. óriás kocka, rendelkezik talppal és fix furathálója van. Ez a kocka kiegyensúlyozott, mert szimmetrikus kialakítása van.

Óriás kocka

Anyag: EN-AW 6082 T651

Méret: 440x345mm

Súly: 50 kg



7.ábra
Óriás kocka (saját kép)

4.3. Kiegyensúlyozatlan kocka

Szintén gyakran használt kocka a nagy magnéziumtömb.

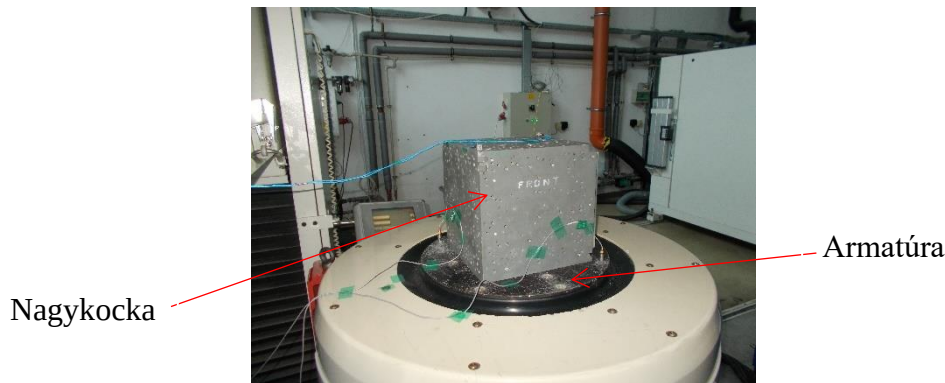
Nagy kocka

Anyag: Magnézium

Méret: 260x260mm

Súly: 30 kg

Rögzítés: A 152,4 mm furatkörön rögzül a rázógép 440 mm-es armatúrájához.



8.ábra

A nagykocka a rázógép armatúrájára rögzítve (saját kép)

A magnézium kocka előnye, hogy kis súlyának köszönhetően a rázógép kisebb erőt kell, hogy kifejteni, így kevésbé terheli a berendezést. Az évek során a kocka oldalai egyre több furattal bővültek, mivel a Megrendelők egyre több és változatosabb mintát kívántak tesztelni. Ezen felül, a kialakított menetek fokozott igénybevétele miatt, amelyet a gyakori ki- és becsavarás, illetve a folyamatos vibráció okoz, a menetek károsodhatnak. Ilyenkor a vizsgálati mintákat új helyre kell rögzíteni. Megfigyeltük, hogy ezeken a magnéziumtömbökön évről évre növekedett a keresztirányú rezgések amplitúdója, ami már oly mértékben megnőtt, hogy sérti a szabványok előírásait. Ez különösen az MSZ EN 60068-2-64:2009-es szabvány 4.3 paragrafusára vonatkozik, amely előírja, hogy 500 Hz alatt a keresztirányú rezgések amplitúdói nem haladhatják meg a főirányú gerjesztési profil -6 dB-es szintjét, míg 500 Hz felett nem érhetik el a -3 dB-es határt.

Az „Abnormális Keresztirányú Rezgések Vizsgálata, Megszüntetése Vagy Csökkentése LDS Rázógépen” című szakdolgozatomban célja az volt, hogy ezt a problémát megszüntessem vagy redukáljam.

A szakdolgozatomban több megoldással is próbálkoztam, a cél elérésének érdekében. Megpróbáltunk marni a kocka aljából, majd rázógép karbantartás és végül a kiegyensúlyozás következett. A kiegyensúlyozás néhány fontos lépését részleteztem a szakdolgozat 5.2.1-es pontjában.

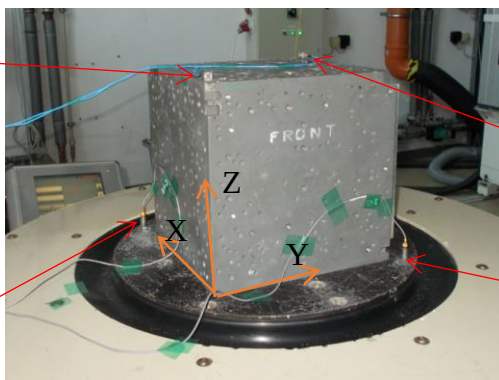
A kiegyensúlyozás lépései részletesebben megtalálhatók a szakdolgozatomban. Viszont néhány fontosabb lépést kiemelek a TDK dolgozatban is.

A méréseket pásztázó szinusz gerjesztéssel végeztem 5-2000Hz-es tartományban 1 oktáv/perces söprési sebességgel.

1. Triax szenzor
Csatorna
3(X)-4(Y)-5(Z)

2. Egyirányú
szenzor

Csatorna 1(Z)



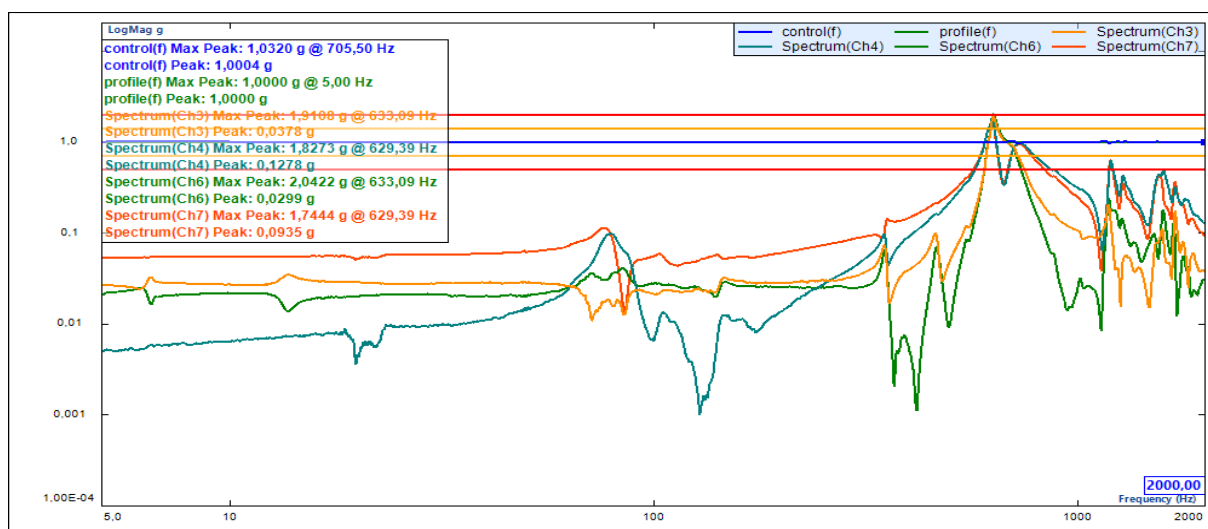
2. Triax szenzor
Csatorna
6(X)-7(Y)-8(Z)

1. Egyirányú
szenzor

Csatorna 2(Z)

9.ábra

A nagykocka a rázógépen (saját kép)



10.ábra

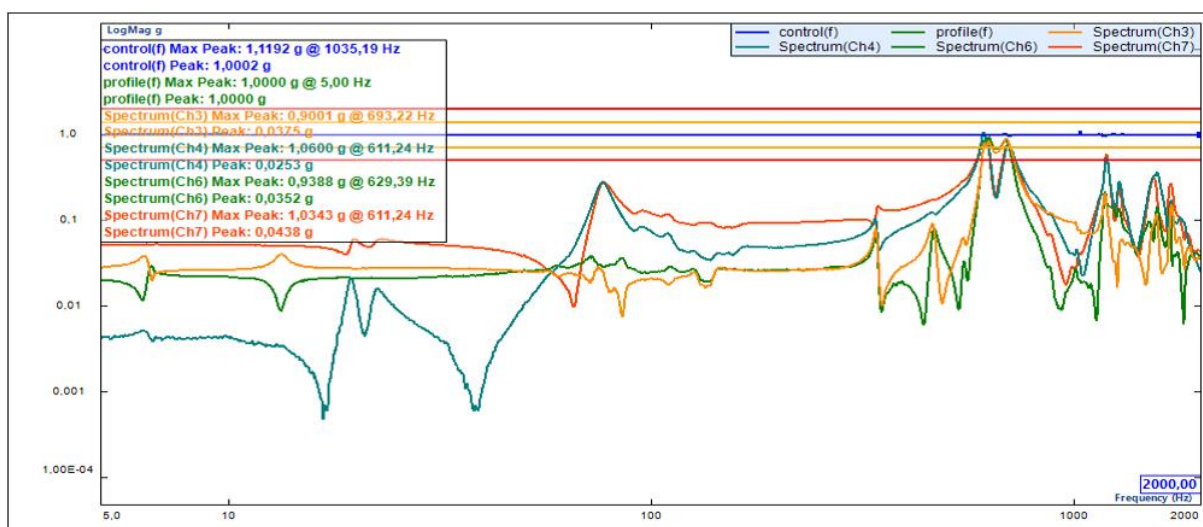
A pásztázó szinusszal mért spektrumok az 5-2000Hz-es tartományban

A 10. ábrán jól látható, hogy a kék színű kontroll jel pontosan követi a profilban megadott gyorsulási értéket, amely a négy főirány átlagát mutatja. 630 Hz-nél megfigyelhető, hogy a keresztirányú rezgések amplitúdója eléri a +6 dB-es felső határt, amely meghaladja a főirányokra előírt értéket. 1200 Hz-nél pedig közelíti a -3 dB-es szintet.

Felszereltem a kocka jobb oldalára egy 150 grammos ellensúlyt, azonban ez nem hozott változást a spektrumokban. Nem tapasztaltam jelentős eltéréseket, és ugyanazokat az eredményeket kaptam, mint korábban. Ezzel bizonyítottam, hogy a 150 g-os ellensúly nem befolyásolja a kiegyensúlyozatlanság mértékét.

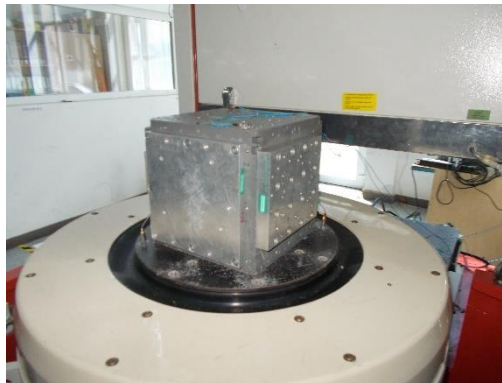


11.ábra
A 2,5kg-os ellensúly a kockán (saját kép)



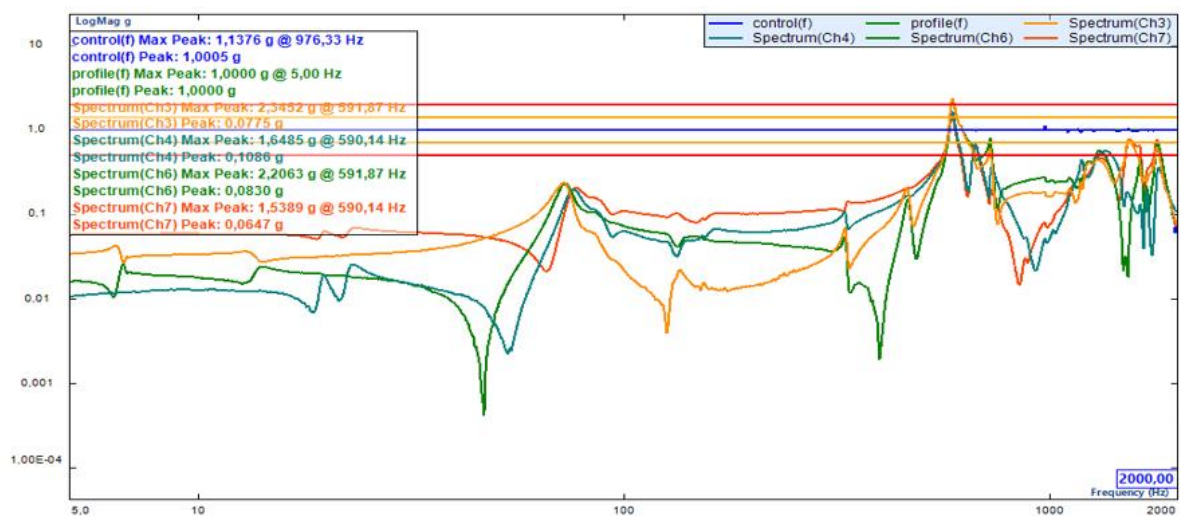
12.ábra
A 2,5 kg-os ellensúllyal mért spektrumok

A 2,5 kg-os ellensúly a kocka jobboldalán pozitív eredményt adott. Bár a 12.ábrán megjelent egy dupla csúcs keresztirányban 6-700 Hz-között, de a korábbi +6dB-ről a profil szintjére sikerült csökkenteni az amplitúdókat. 1200 Hz-nél éppen a -6dB felett vannak az amplitúdók, ami szintén javulás.



13.ábra

Hátulról nézve a két felszerelt ellensúly képe (saját kép)

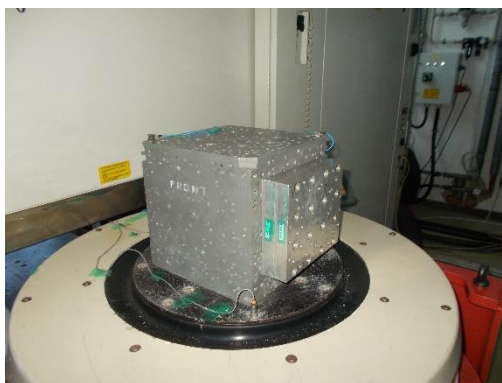


14.ábra

A 2,5 kg-os és 2 kg-os ellensúlyokkal mért spektrumok

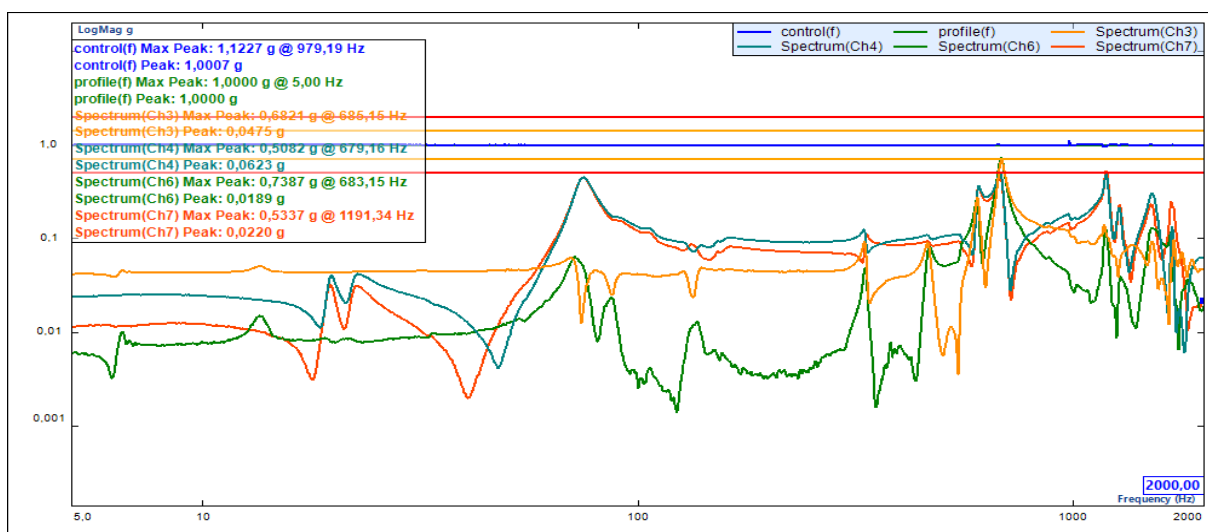
Mint a 14.ábrán látható ez a konstrukció nem javított, sőt még rontott is a helyzeten, 1790 és 1545 Hz-nél -3dB felett vannak az amplitúdók, 1300Hz-nél a -6dB-felett. 720Hz-nél -3dB fölé emelkedik és a legrosszabb, hogy 590Hz-nél +6 dB fölé emelkedtek a keresztirányú rezgések.

A további mérések során vegyes eredmények születtek, voltak sikeres és kevésbé sikeres kísérletek is. Az áttörést jelentő mérés azonban akkor következett be, amikor a jobb oldalra 4 kg ellensúlyt helyeztem el, ami jelentős javulást hozott.



15.ábra

A kocka a rázógépen 4 kg ellensúllyal a jobb oldalon (saját kép)



16.ábra

A mért spektrumok amikor 4 kg ellensúly van a jobb oldalon

Ezzel jelentős áttörést értem el, ugyanis sikerült a -3dB-es határra redukálni a keresztirányú rezgések amplitúdóját. 1190 Hz-en éppen a -6dB-nél, 680-nál éppen a -3dB-nél helyezkednek el a jelek. Szinte elértem a szakdolgozat célját, hiszen ez már megfelelné a szabványoknak.

Azonban még törekedtem arra, hogy a -3dB alatt legyenek az keresztirányú rezgések értékei.

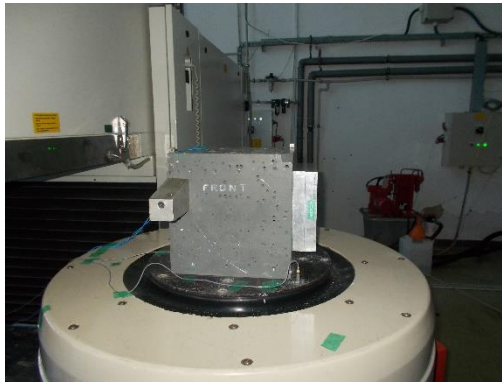
További méréseket végeztem, amelyek nem vittek előrébb. Ezek után visszaszereltem a 2db 2 kg-os súlyt jobb oldalra és egy 700 grammos súlyt teszek a hátuljára. Sajnos nem történt előre lépés, sőt magas frekvencián egy újabb rezonancia jelentkezett.

Az alábbi módon voltak rögzítve:



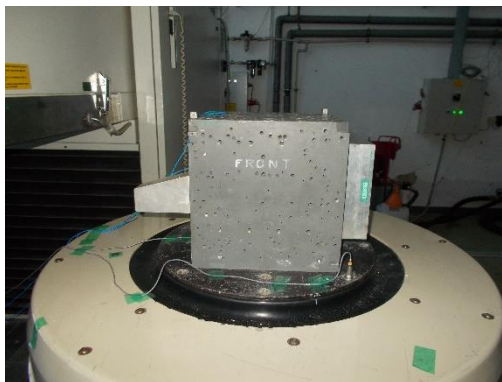
17.ábra

4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a hátulján (saját kép)



18.ábra

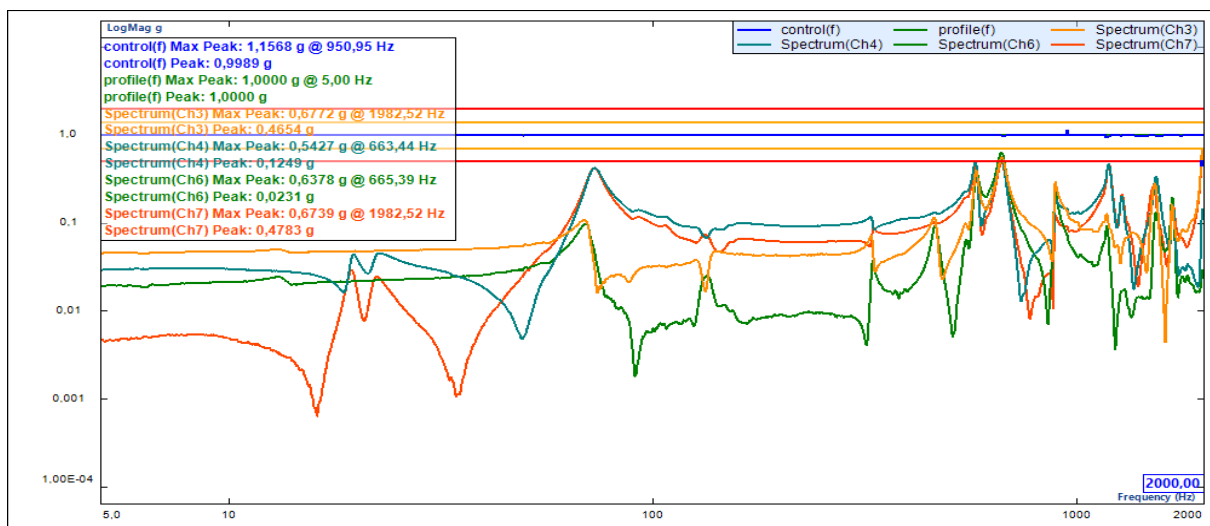
4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly az elején (saját kép)



19.ábra

4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a baloldalán (saját kép)

Ezek után a kocka tetejére (felülről nézve a bal felső sarokba) helyeztem a 0,7 kg-os súlyt.

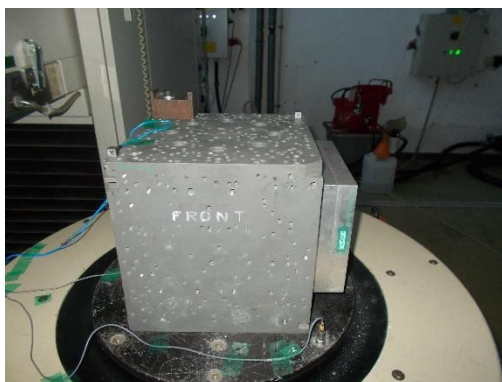


20.ábra

A mért spektrumok 4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a tetején

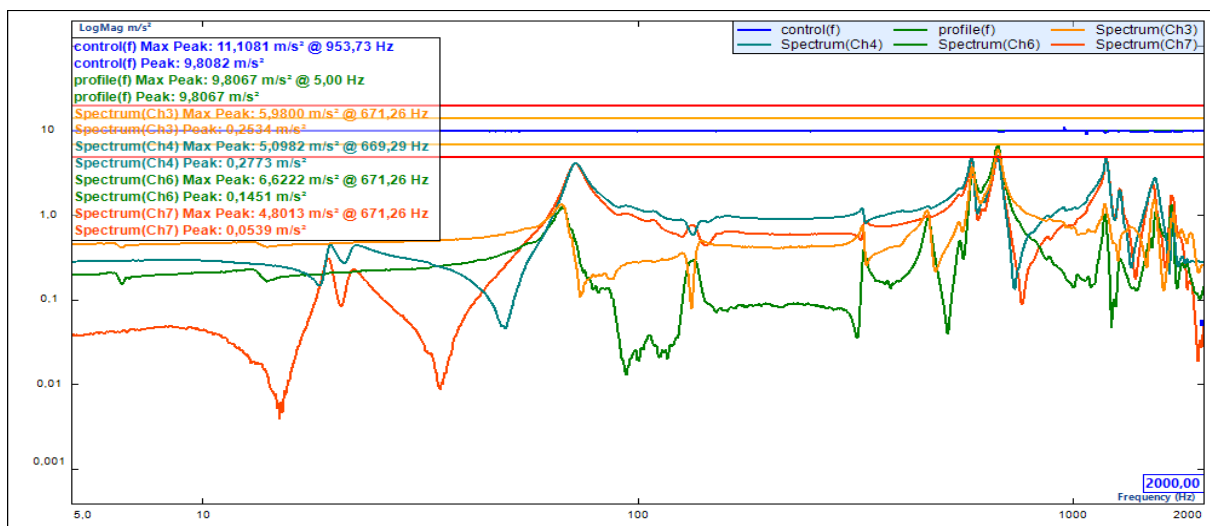
A 20.ábra mutatja, hogy sikerült a -3dB-es határ alá redukálni a keresztirányú rezgések amplitúdóját. 666Hz bőven a -3dB alatt helyezkednek el a jelek. Magas frekvencián 2000 Hz környékén keletkezett egy rezonancia, azonban ez nem haladja meg a -3dB-es határt.

Arra a következtetésre jutottam, hogy a magasabb frekvencián jelentkező rezonancia a 700 grammos súly magasságából eredhetett. Ennek megoldására egy hasonló tömegű, de laposabb súlyt kerestem, és kicseréltem.



21.ábra

4 kg súly jobb oldalon és a laposabb 0,7 kg-os ellensúly a tetején (saját kép)



22.ábra

A mért spektrumok 4 kg súly jobb oldalon és a laposabb 0,7 kg-os ellensúly a tetején

Az 22.ábrán láthatjuk, hogy magas frekvencián eltűnt a rezonancia és most már megfelel végre a MSZ EN 60068-2-64:2009 szabványnak!

A kiegyensúlyozás meghatározó lépéseit a megértés érdekében táblázatba foglaltam. (2.táblázat)

Keresztirányú rezgés amplitúdók vizsgálata					
	500 Hz alatti amplitúdók	500 Hz feletti amplitúdók	A korábbi mérésekhez való hasonlítás	A szabványnak megfelel	Egyéb megjegyzések
Nagy kocka	megfelel	+6dB-nél (630 Hz)	-	nem	1200Hz-nél megközelíti a - 3dB-t.
2,5 kg- jobbaldalon	megfelel	Profilnál (6-700 Hz)	Jelentős javulás 6dB-es különbség	nem	1200Hz-nél éppen meghaladja -6dB-t.
2,5 kg- jobbaldalon 2 kg hátul	megfelel	+6 dB felett (590 Hz)	Az alap problémánál is rosszabb	nem	magasabb frekvenciákon néhol a -3 dB felett
2,5 kg- jobbaldalon 2 kg elől	megfelel	Profilnál (665 Hz)	Az előzőkéhez képest javult	nem	1200 Hz-nél megközelítik a - 6dB-t de nem érik el
4 kg- jobbaldalon	megfelel	megfelel, 680 Hz-nél éppen a - 3dB-es határ alatt	Az előző mérésekhez képest a legjobb	igen	70 és 1190 Hz-nél megközelítik a - 6dB-es határt
4 kg- jobbaldalon 0,7 kg tetején	megfelel	megfelel, 666 Hz-nél a -3dB-es határ alatt	Az előző mérésekhez képest javult	igen	2000 Hz környékén megjelent egy csúcs
4 kg- jobbaldalon 0,7 kg tetején (laposabb ellensúly)	megfelel	megfelel	Méréseim közül a legjobb	igen	2000 Hz környékén eltűnt a csúcs

2.Táblázat

A kiegyensúlyozásban áttörést jelentő mérések keresztirányú rezgéseinek összefoglalása

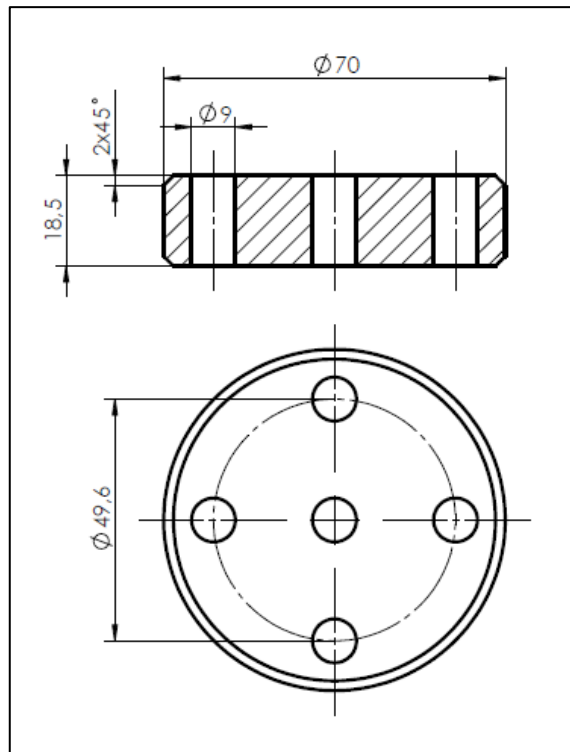
Méréseimet gondosan dokumentáltam, és a munkautasításoknak megfelelően hajtottam végre. A célom az volt, hogy a kocka tesztjei során tapasztalt keresztirányú rezgések amplitúdóját minimalizáljam vagy olyan mértékben csökkentsem, hogy azok megfeleljenek az MSZ EN 60068-2-64:2009 szabvány előírásainak. Ezt sikerült elérnem, hiszen közel 9 dB-el sikerült csökkentenem a keresztirányú rezgések amplitúdóját. Számos kísérletet végeztem a keresztirányú rezgések redukálása érdekében, minden mérés után módosítva valamit a rendszeren. Bár nem minden változtatás hozott pozitív eredményt, végül addig finomítottam a konstrukciót, amíg az megfelelt a szabvány követelményeinek.

Sajnos a méréseim véglegesen bebizonyították, hogy az eddig használt magnézium kocka önmagában már nem alkalmas további vizsgálatokra. Bár kiegyensúlyozással elméletileg orvosolható lenne a probléma, ez gyakorlatilag nem kivitelezhető, mivel a szükséges kiegyensúlyozó elemek miatt a vizsgálandó minták rögzítése a kockára szinte lehetetlenné válna. Még ha meg is oldható lenne a rögzítés, az tesztelt mintadarabok további összetevőket adnának a rázórendszerhez, amit ismételten ki kellene egyensúlyozni, ahogyan a méréseim is mutatják, ez egy rendkívül összetett és időigényes feladat. Egy-egy teszt telepítése és elindítása akár napokat is igénybe vehet. Továbbá, ha kiegyensúlyozatlan tárgyat rázunk, az jelentős terhelést adna a rázó berendezésnek. Összességében elmondható, hogy a magnézium kocka kiegyensúlyozása nem költséghatékony megoldás, hiszen rengeteg időt és erőforrást vesz el, amelyeket hatékonyabban is fel lehetne használni. Azonban, ha egy kiegyensúlyozott kockára, például az óriás kockára úgy helyezük fel a vizsgált alkatrészeket, hogy nincs meg a megfelelő egyensúly akkor szükség van kiegyensúlyozó darabokra, annak érdekében, hogy ne tegyük tönkre se a rázógépet se a vizsgált mintákat.

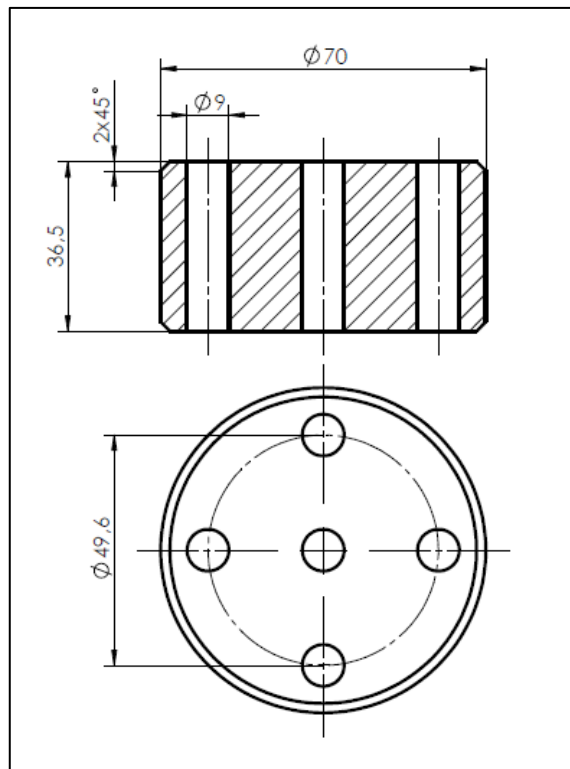
5. Kiegyensúlyozó ellensúlyok tervezése, gyártása

Időnként megfigyelhető, hogy némelyik tesztél a keresztirányú rezgések amplitúdói megemelkednek. Ezért az egyenletesebb terhelés érdekében célszerű lenne ellen súlyokat alkalmazni. Ez jelentősen növelheti az armatúra élettartamát. Általában a terhelés csökkentésének érdekében a súlyt kell redukálni, többek között ezért is van kikönnnyítve a kocka alja. Azonban esetünkben nem a terhelés csökkentése, hanem az egyenletes terhelés, vagyis a kiegyensúlyozás a cél. Ezért nem feltétlenül könnyű súlyokat kell alkalmazni, mert például a szakdolgozatomban is megfigyeltem, hogy egy 150 grammos ellensúly nincs jelentős befolyással a rendszerre. Ellenben egy 0,7 vagy 1 kg-os súlynak, amely jelentős változásokat eredményezhet. Azt is megfigyeltem, hogy nem érdemes lelógó ellensúlyokat alkalmazni, hiszen ezek magasabb frekvenciákon jelentős hatással lehetnek.

Tehát a tervezésnél figyelembe kell venni az ellensúly anyagát. Ebben az esetben alumíniumot nem érdemes használni, mert a cél az, hogy minél kisebb térfogatú, de nagy tömegű legyen az ellensúly. Helyette inkább acélból készüljön az ellensúly, amit egy vagy több csavarral rögzítünk a kiegyensúlyozni kívánt megfogóhoz. Célszerű többet készíttetni, mert így több lehetőség van módosítani a konstrukciót. Fontos az is, hogy a magassága ne legyen nagyobb mint 40 mm, mert az előzőekben is említett 20. ábrán láthatjuk, hogy milyen magas frekvenciás jeleket okoz egy magasabb, kilógó ellensúly.



23.ábra
0,5 kg-os ellensúly rajza



24.ábra
1 kg-os ellensúly rajza

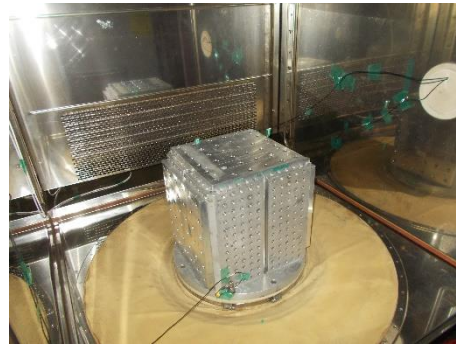
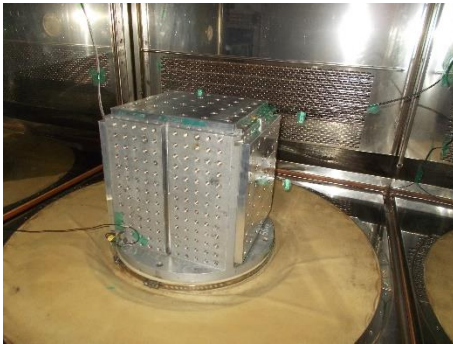
A rajzok alapján legyártásra került 4 db 1kg-os és 2 db 0,5 kg-os ellen súly.



25.ábra

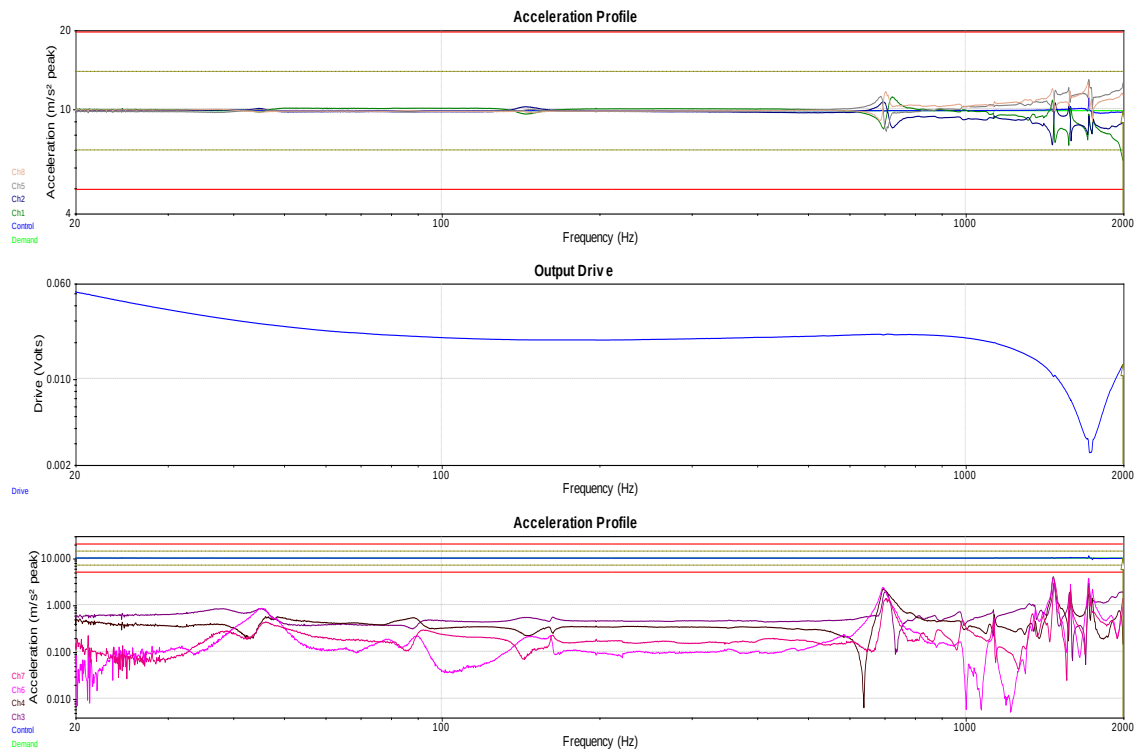
A legyártott 0,5 és 1 kg-os ellensúlyok

6. A kiegyensúlyozáshoz tervezett ellensúlyok alkalmazása



26.ábra

Megfogó a kocka tetején, bal és a jobb oldalán



27.ábra

Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka tetején a bal és a jobb oldalán van

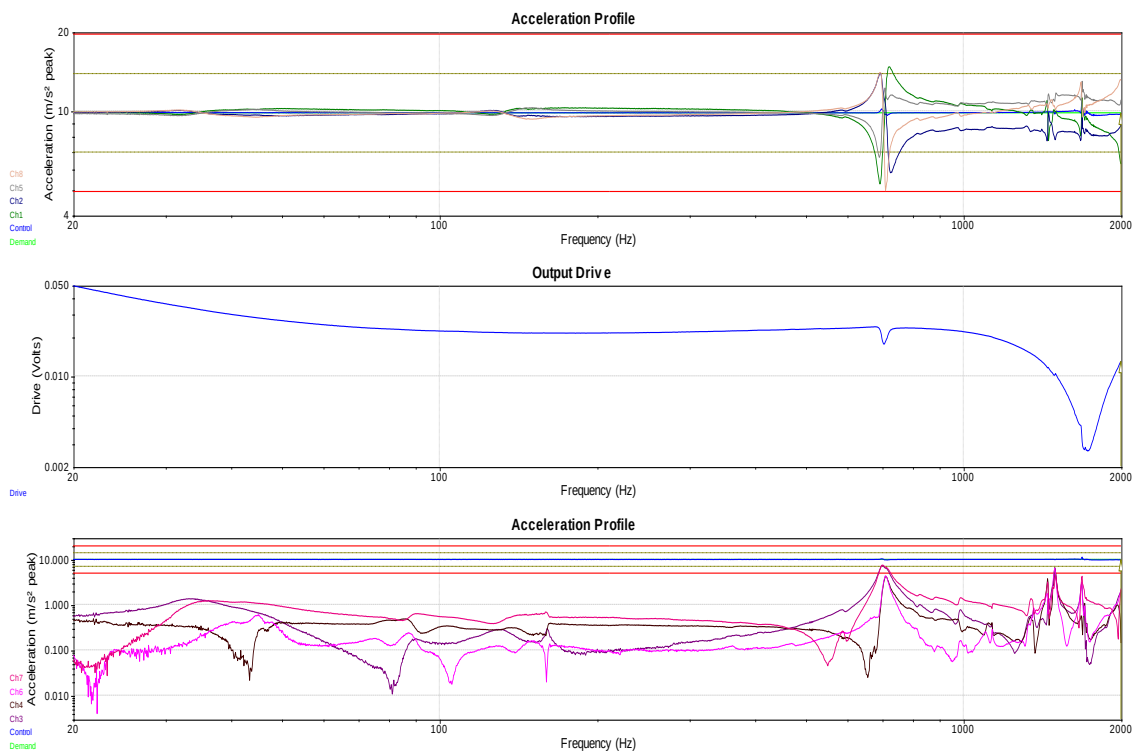
A 27.ábra alapján megállapítható, hogy az elvégzett vizsgálat, teljes egészében megfelelt a szabvány kritériumainak. Mivel 500 Hz alatt a profil bőven -6dB-es határát alatt vannak a keresztirányú rezgések amplitúdói és 500 Hz felett sem érhetik el a -3dB-es határt a keresztirányú rezgés értékek, sőt a -6dB-t is csak minimálisan közelítik meg.

A következő részben azt a konstrukciót szimuláltam, amikor 3 db mintát kell egy irányban tesztelni. Tehát a kocka bal, jobb és hátuljára szereltem fel a megfogókat.



28.ábra

Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán



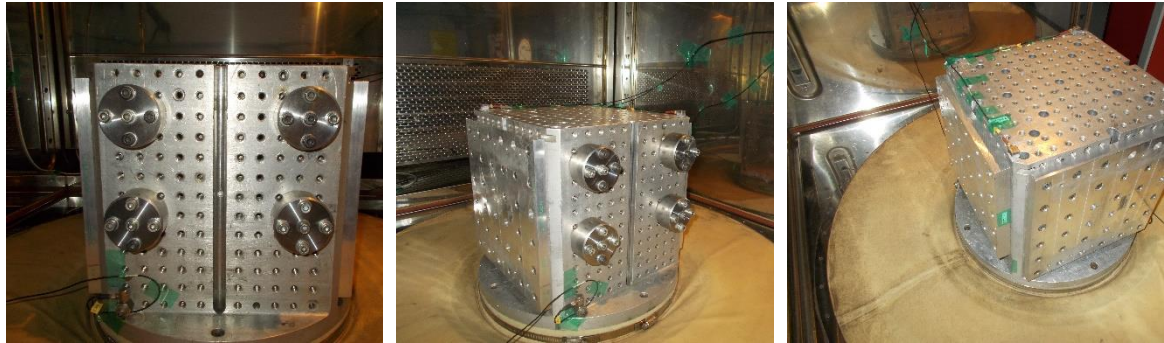
29.ábra

Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán van

A 29.ábra alapján kijelenthető, hogy az elvégzett vizsgálat, nem felelt meg a szabvány kritériumainak. Mivel 700 Hz-nél keresztirányú rezgések amplitúdói éppen meghaladják -3dB-es határt.

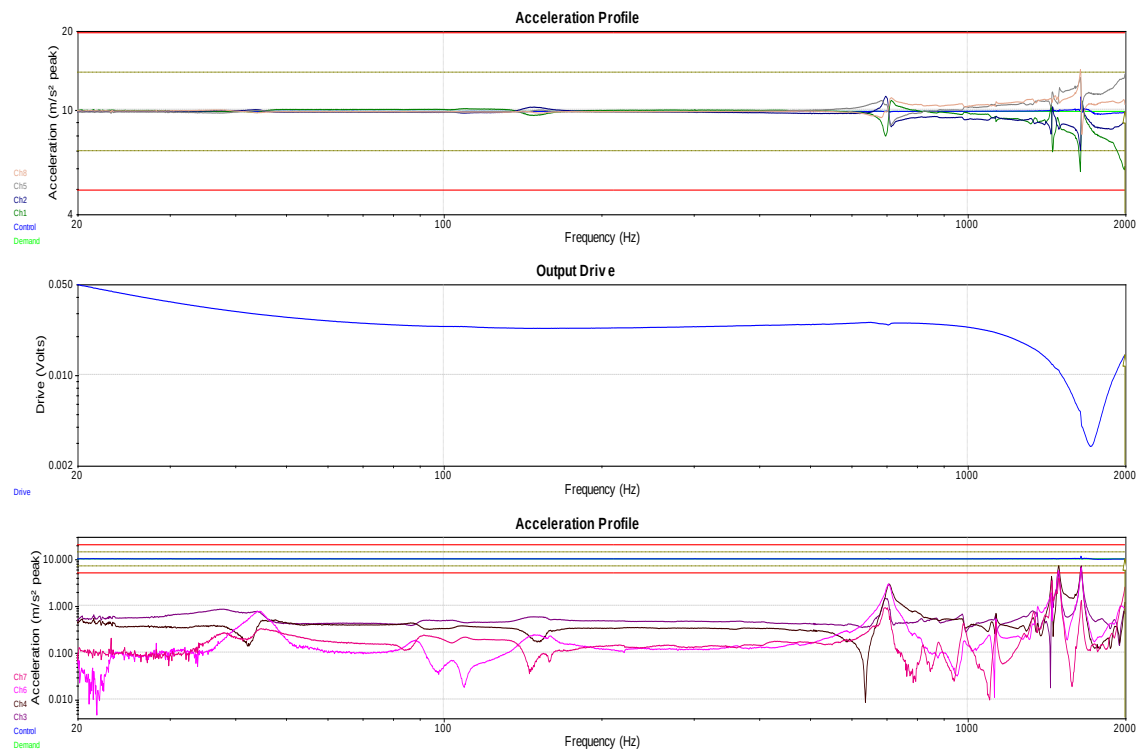
Mindenképpen szükséges kiegyensúlyozni, hiszen amellett, hogy keresztirányú rezgések amplitúdó értékei magasak, a főirányú gerjesztésekben is látható, hogy valamilyen extra rezonancia van a rendszerben. Ez a rezonancia vagy sajátfrekvencia a második grafikonon is látszik, hiszen a meghajtó (drive) jelen is látható, hogy 700 Hz-nél van egy beesés.

Ezekután felszereltem a legyártott ellensúlyokat a kocka elejére.



30.ábra

Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán, ellen súlyok a kocka elején



31.ábra

Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán és ellen súlyok a kocka elején vannak.

A 31.ábra alapján elmondható, hogy a kiegyensúlyozott konstrukció, pont megfelel a szabvány kritériumainak. Hiszen az előző 29-es ábrán 700 Hz-nél keresztirányú rezgések amplitúdói meghaladták -3dB-es határt, de ebben az esetben jelentősen csökkentek, hiszen a kiegyensúlyozott variációval 700 Hz-nél bőven a -6dB-es határ alatt maradtak.

Keresztirányú rezgés amplitúdók vizsgálata				
	500 Hz alatti amplitúdók	500 Hz feletti amplitúdók	A szabványnak megfelel	Egyéb megjegyzések
Megfogó a kocka tetején, bal és a jobb oldalán	megfelel	megfelel	igen	A rázógép szimmetrikusan volt terhelve.
Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán	megfelel	-3 dB felett (700 Hz)	nem	A rázógép aszimmetrikusan volt terhelve.
Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán, ellen súlyok a kocka elején	megfelel	megfelel	igen	Az előző teszthez képeset rázógép kiegyensúlyozatlansága korrigálva lett.

3.Táblázat

Az óriás kocka különböző konstrukcióinak rövid összefoglaló táblázata

7. Összegzés

Vibrációs tesztek során, nagyon fontos, hogy a rázórendszer megfelelően ki legyen egyensúlyozva. Amennyiben erre nem figyelünk, hamar tönkre tehetjük a tisztelt Megrendelő tulajdonát és a rázóberendezés armatúráján is könnyebben alakulhat ki repedés, valamint a szabványos mérés kivitelezése sem lehetséges. A szabványban az van leírva, hogy 500 Hz alatt a főirányú gerjesztés -6dB, 500 Hz felett a -3dB-es határ alatt kell lennie a keresztirányú rezgéseknek. Ez nem véletlenül van így, hiszen, ha ezeket a határokat átlépjük kiegyensúlyozatlanul hajtjuk végre a vizsgálatot.

A kiegyensúlyozás nem egyszerű dolog, ezt korábbi szakdolgozatom is mutatja, amelyből néhány részletet be is mutattam. Viszont vannak olyan esetek amikor a rázórendszert kénytelenek vagyunk egyensúlyba hozni. Ezért is terveztem meg, a kiegyensúlyozáshoz szükséges ellen súlyokat. A tervezésnél figyelembe vettem a korábbi tapasztalataimat is és ennek függvényében legyártásra kerültek az ellensúlyok.

Arra a kérdésre, hogy használhatók-e az ellensúlyok a valóságban a 29. és 31. ábra választ ad. Amennyiben a két ábrát összehasonlítjuk az mondtató el, hogy 700 Hz-nél jelentősen csökkentek a keresztirányú rezgések ez bizonyítja, hogy a kiegyensúlyozás korrigálása sikerült. Igaz, hogy 1500 Hz-nél éppen a -3dB-es határnál vannak a keresztirányú jelek, de ez egyrészt még megfelel a szabványnak, másrészt a kocka elsősajátfrekvenciája ezen a frekvencián van, így nem meglepő, hogy a keresztirányok is kissé magasabbak.

Összeségében elmondható, hogy a kiegyensúlyozó alkatrészek alkalmasak a kiegyensúlyozásra, ezt méréseimmel is bebizonyítottam. Az ellensúlyokat az egyszerűbb rázórendszer kiegyensúlyozások mellett, használhatjuk bonyolult geometriájú, nagyobb 10-12 kg-os minták és hosszabb lelógó mintadarabok esetén is.

Irodalomjegyzék

- [1] „ecotech.hu,” Ecotech Nonprofit Zrt., [Online]. Available: <https://muszakiszolgaltatasok.ecotech.hu/elettartam-vizsgalatok/vibracios-es-hooregitesi-gyotresek/>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].
- [2] „<https://www.bksv.com/>,” Brüel & Kjaer, [Online]. Available: <https://bruel.hu/wp-content/uploads/2020/08/LDS-V875.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].
- [3] „razogep-shaker.hu,” PIM Kft., [Online]. Available: <https://razogep-shaker.hu/szabalyozas/>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].
- [4] A. Turner, Vibration Test System, Brüel & Kjaer, 2014.
- [5] „bruel.hu,” bruel, [Online]. Available: <https://bruel.hu/wp-content/uploads/2020/08/Transducer-Catalogue.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].
- [6] „centrateq.com,” centrateq, [Online]. Available: <https://centrateq.com/news/vibration-testing-an-overview-of-techniques-and-applications/>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].
- [7] „vibrationresearch.com,” vibrationresearch, [Online]. Available: <https://vibrationresearch.com/blog/cross-axis-acceleration-aerospace-testing/>. [Hozzáférés dátuma: 20 11 2024].

Ábrajegyzék

1.ábra A rázó rendszer felépítése [2]	1
2.ábra LDS I gépcsoport (saját kép)	2
3.ábra Pásztázó szinusz profilja (programból kivágott kép).....	5
4.ábra Véletlenszerű rázás profilja (programból kivágott kép)	6
5.ábra Mérőszenzorok elhelyezésének módja (Munka utasításból kivágott kép)	7
6.ábra Szenzor mérőkábelének rögzítése (Munka utasításból kivágott kép).....	8
7.ábra Óriás kocka	9
8.ábra A nagykocka a rázó gép armatúrájára rögzítve	10
9.ábra A nagykocka a rázó gépen.....	11
10.ábra A pásztázó szinusszal mért spektrumok az 5-2000Hz-es tartományban	11
11.ábra A 2,5kg-os ellensúly a kockán (saját kép)	12
12.ábra A 2,5 kg-os ellensúllyal mért spektrumok.....	12
13.ábra Hátulról nézve a két felszerelt ellensúly képe (saját kép).....	13
14.ábra A 2,5 kg-os és 2 kg-os ellensúlyokkal mért spektrumok.....	13
15.ábra A kocka a rázó gépen 4 kg ellensúllyal a jobb oldalon (saját kép).....	14
16.ábra A mért spektrumok amikor 4 kg ellensúly van a jobb oldalon.....	14
17.ábra 4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a hátulján (saját kép)	15
18.ábra 4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly az elején (saját kép).....	15
19.ábra 4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a baloldalán (saját kép).....	15
20.ábra A mért spektrumok 4 kg súly jobb oldalon és 0,7 kg ellensúly a tetején	16
21.ábra 4 kg súly jobb oldalon és a laposabb 0,7 kg-os ellensúly a tetején (saját kép).....	16
22.ábra A mért spektrumok 4 kg súly jobb oldalon és a laposabb 0,7 kg-os ellensúly a tetején	17
23.ábra 0,5 kg-os ellensúly rajza	21
24.ábra 1 kg-os ellensúly rajza	21
25.ábra A legyártott 0,5 és 1 kg-os ellensúlyok	22
26.ábra Megfogó a kocka tetején, bal és a jobb oldalán.....	22
27.ábra Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka tetején a bal és a jobb oldalán van	22
A következő részben azt a konstrukciót szimuláltam, amikor 3 db mintát kell egy irányban tesztelni. Tehát a kocka bal, jobb és hátuljára szereltem fel a megfogókat.....	
28.ábra Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán	23
29.ábra Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán van	23
30.ábra Megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán, ellen súlyok a kocka elején.....	24
31.ábra Grafikus eredmények amikor a megfogó a kocka bal, jobb és a hátsó oldalán és ellen súlyok a kocka elején vannak.	24

Táblázat jegyzék

1.Táblázat LDS I rázó gép specifikáció.....	2
2.Táblázat A kiegyensúlyozásban áttörést jelentő mérések keresztirányú rezgéseinek összefoglalása	18
3.Táblázat Az óriás kocka különböző konstrukcióinak rövid összefoglaló táblázata	25