

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Mechatronikai- és Autótechnikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**Demonstrációs eszköz fejlesztése
vázszerkezetek rezgéseinek mozgás
animációs vizsgálatához**

Szerző: **Szántó András**
gépészmérnöki szak, V. évfolyam

Konzulens: **Dr. Szabó József Zoltán**
adjunktus, intézetigazgató helyettes

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. A rezgésdiagnosztika jelentősége az iparban.....	4
1.1 Karbantartási stratégiák	4
1.2 Tönkremenetel valószínűsége, kádörbe fogalma.....	5
2. A legfontosabb rezgésjellemzők	9
2.1. Amplitúdó	11
2.2. Frekvencia.....	11
2.3.Fázisszög jelentősége.....	11
2.4. Harmonikus rezgőmozgás.....	12
2.5. Út, sebesség és a gyorsulás közötti összefüggés.....	13
3. A mozgás animáció elméleti alapjai	15
3.1. Egy pont térbeli mozgásának leírása	15
3.2. A mozgás animáció megvalósítása rezgés és fázisszög egyidejű mérésével.....	17
4. Mozcás animációs modul tervezése a Wibroshow próbapadhoz	19
4.1. A Wibroshow próbapad általános bemutatása.....	19
4.1.1. A Wibroshow próbapad főbb műszaki adatai [1]	20
4.2. A mozgás animációs összeállítás a Wibroshow próbapadon.....	21
4.2.1. A modul meghajtása	21
4.2.2. Gerjesztés változtatásának megoldása	21
4.2.3. Fordulatszám változtatásának jelentősége	23
4.2.4. Vázmozgások kimutatása a különféle gerjesztések hatására	23
4.3. Az elkészített modul jellemző műszaki paraméterei	24
5. Mozcás animációs mérés során alkalmazott műszer és szoftver bemutatása.....	25
5.1. VMI Easy Viber 64 rezgés analízátor jellemzői.....	25
5.2. VMI Vibshape szoftver jellemzői.....	26
6.Mozgás animációs kísérletek,a vázszerkezet mozgásának diagnosztikai vizsgálatára	27
6.1. A mozgás animációs mérés előkészítése, számítógépes modellalkotás	27
6.2. A mozgás animációs mérések elvégzése	29
6.3. A mérési eredmények bemutatása	32
6.4. A mozgás animációs mérési eredmények értékelése	33
6.5. Megállapítások, a mérési eredmények értékelése.....	39
Összefoglalás	41
Felhasznált irodalom.....	42

Bevezetés

A vállalkozások tevékenységében az üzemfenntartás, karbantartás szerepe napjainkban egyre fontosabb szerepet tölt be. A folyamatosan fejlődő korszerű technológiák megvalósításához egyre bonyolultabb berendezéseket állítanak üzembe. Ezeknek a korszerű berendezéseknek az egyik legfontosabb jellemzője a hosszú élettartamon át tartó megbízható üzemelés.

A megbízhatóság mellett a karbantartási költségek csökkentése egyre inkább előtérbe kerül a jelenlegi gazdasági helyzetben. A költségcsökkentés egyik leghatékonyabb módszere a gépek műszaki állapotának üzem közbeni meghatározása, amelyet a gyakorlatban a rezgésdiagnosztikai vizsgálatokkal érhetünk el. A rezgésméréssel olyan hibák mutathatók ki, amelyek csak a gép rendeltetésszerű használata közben, teljes terhelés alatt jelennek meg. Amennyiben a gép meghibásodás következtében leáll akár a termelés kiesés, akár a javítási költségek több milliós kárt okozhatnak. A hiba üzem közben történő felismerése azonban nem egyszerű, komoly szakmai ismeretet igényel.

TDK dolgozatom a rezgésdiagnosztika egy speciális területével a mozgás-animációs vizsgálattal foglalkozik. A mozgás-animációs vizsgálat segítségével a gépek valószínű mozgásait tudjuk láthatóvá tenni. A rezgések láthatóvá tételét a rezgés amplitúdójának és fázisszögének egy időben való mérésével tudjuk megvalósítani. A megjelenítést egy speciális Vibshape nevű szoftver teszi lehetővé, amely a mérési eredmények alapján készít animációt. Az animáció legnagyobb előnye a hagyományos rezgésspektrum elemzéshez képest, hogy a vizsgált berendezés összes fontos pontjának mozgását valós időben tanulmányozhatjuk. A módszer hatékonyan alkalmazható rezonancia vizsgálatoknál vázszerkezetek üzem közbeni vizsgálatára. Segítségével a gép vizsgált pontjainak egymáshoz viszonyított mozgása is elemezhető, így a meghibásodás forrása azok számára is egyértelművé válik akik a diagnosztikai szakmában nem járatosak.

A dolgozatom első része kifejti a rezgésdiagnosztika jelentőségét, ismerteti a legfontosabb rezgésjellemzőket majd kitér a mozgás-animációs módszer elméleti kérdéseire.

A dolgozatom legfontosabb eredménye egy általam elkészített demonstrációs modul, amelyet a Mechatronikai és Autótechnikai Intézet WIBROSHOW rezgésdiagnosztikai próbapadjához készítettem. Ennek megfelelően a 4. fejezetben a dolgozatom bemutatja a mozgás animációs modult, kivitelezését és a modullal kapcsolatos elvárásokat. A modul fő feladata a vázszerkezet csomópontjain mérhető rezgések bemutatása mozgás animáció segítségével. A dolgozatom kitér a mozgás-animáció szemléltetésében és gyakorlati alkalmazásában használható rezgés analízátor, illetve a speciális Vibshape szoftver ismertetésére, amely a mérési eredmények alapján megjeleníti a vázszerkezet csomópontjainak elmozdulásait.

A befejező rész bemutatja az elmélet és a gyakorlat összekapcsolását a valóságban, azaz a hibák előzetes megállapíthatóságának a lehetőségét a rezgésdiagnosztika módszerével. A dolgozatom rávilágít a mozgás animációs vizsgálatok gyakorlati hasznosságára, ennek érdekében a különféle gerjesztések hatását a mérési eredményeken, valamint mozgó animációkon keresztül elemzi és értékeli.

A TDK dolgozatban kifejlesztett modul és a mérési eredmények az egyetemi oktatásban a korszerű diagnosztika című tantárgy keretein belül kerül hasznosításra. Munkám célja az volt, hogy az elkészített modellel az oktatás színvonalának emeléséhez hozzájáruljak.

1. A rezgésdiagnosztika jelentősége az iparban

1.1 Karbantartási stratégiák

A karbantartás a gépeknél nagyon fontos dolog, mert ezzel a gépek élettartamát meg tudjuk növelni akár a többszörösére is. A karbantartás ahhoz szükséges, hogy a gép megőrizze az üzemképes állapotát. A technika fejlődésével a karbantartási stratégiák is változtak, de a mai napig is megtalálható mindhárom az ipari termelésben. Ez a három karbantartási stratégia a következő:

- károrientált
- időorientált

- állapotorientált

A károrientált alatt értjük a hibaelhárító karbantartási stratégiát, amelynek lényege, hogy egy gép addig üzemel, amíg meg nem áll benne valami alkatrész és csak ezután cserélik ki. Ennek előnye, hogy 100%-ban kihasználhatók a gépek, de viszont nem lehet tervezni előre, ezért a hirtelen megállás miatt nagy kieséssel kell számolni.

Az időorientált, azaz a merev ciklusú karbantartás alatt értjük azt, amikor egy alkatrésznek előre meg van adva az üzemórája és a szerint cserélik ki. Hátránya ennek a módszernek, hogy az alkatrészek kihasználtsága alacsony, mert lehet, hogy akár dupla annyi időt is elment volna. Ezt a karbantartást már előre lehet tervezni így nagy és hirtelen leállásokra nem kell számítani.

A mai kornak megfelelő karbantartási forma az állapotorientált. Ez alatt azt értjük, hogy a gép állapotától függően döntjük el, hogy cserélni kell-e az alkatrészt avagy sem. Ezek a javítások már előre tervezhetőek, így a váratlan leállások esélye nagyon minimálisra csökken. Ebbe a karbantartási stratégiába tartozik bele a rezgésmérés is. A rezgésdiagnosztika egyik nagy előnye, hogy a gép megbontása nélkül tudjuk vizsgálni, teljes terhelés alatt. A diagnosztika során mért értékek a jelenlegi állapotot tükrözik, és ez alapján kell megállapítanunk a múltbéli állapotot és a jövőbeni viselkedését a gépnek. A műszaki diagnosztika már nagyon sok helyen jelen van, hiszen a mai bonyolult rendszerek felügyelete már nem elhanyagolható. A rezgésdiagnosztikát szinte minden területen alkalmazzák, mivel az általa kapott eredményekből egy jó szakember nagyon pontosan meg tudja állapítani a gép jelenlegi állapotát és, hogy a jövőben meddig tud még üzemelni. A műszaki diagnosztika az állapotorientált karbantartási stratégiák közé tartozik. Ami azt jelenti, hogy rendszeresen végeznek vizsgálatokat a gépeken, és ha bármi hibát észlelnek, akkor azt javítják. Ezzel költséget takarítanak meg, mert feleslegesen nem szedik szét a szerkezetet és a jó alkatrészt nem selejtezik le. A gépek kihasználtsága 90-95%-os. A szerelések és a javítások jól tervezhetőek, ezáltal költséget takaríthatunk meg.

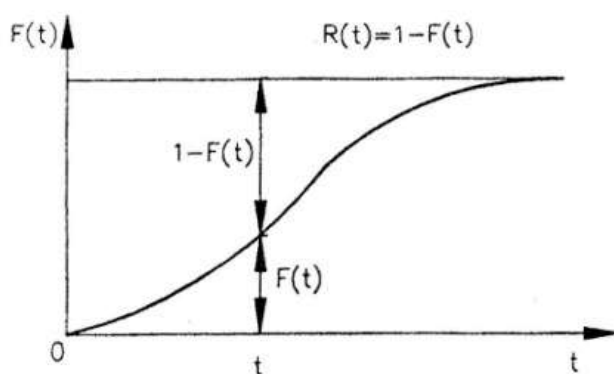
1.2 Tönkremenetel valószínűsége, kádgörbe fogalma

Alapvetően két csoportra oszthatjuk a jelenségeket a bekövetkezés eredménye alapján: a determinisztikus és a sztochasztikus csoportokba. A determinisztikus csoportba azok a jelenségek tartoznak, amelyek meghatározott feltételek mellett ugyanolyan eredményt hoznak. Ezzel szemben a sztochasztikus csoportba azon

jelenségeket soroljuk, amelyek ugyanolyan feltétel mellett egyszer így, másszor úgy zajlanak le. Ez utóbbi csoporttal foglalkozik a valószínűség számítás. A valószínűség számítás a véletlen jelenségek összefüggéseit, törvényszerűségeit kutatja. Egy gép vagy gépalkatrész meghibásodásának valószínűségét több típusú függvénnyel is ki lehet fejezni.

Ha a gyártási vagy üzemi folyamatnak nem a kezdeti, még nem jellemző szakaszát tekintjük, hanem az ún. beállt folyamatot, akkor az ellenőrzés során vizsgált paraméterek meghatározott értékek körül ingadoznak. Az így változó jellemző neve a matematikában: valószínűségi változó. A valószínűségi változó konkrét értékei mindig mérésekből vagy minősítésből származnak.

Lényege: A minta tapasztalati adataiból következtetni a sokaság valószínűségeire, sűrűség- és eloszlásfüggvényére, továbbá e függvények paramétereire.

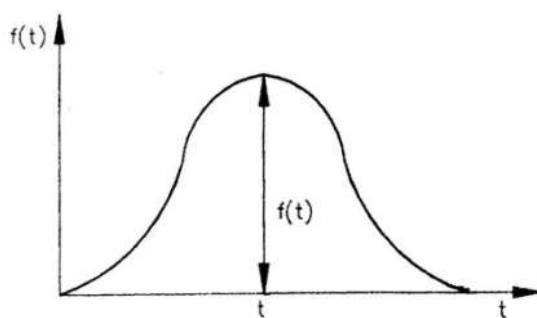


1.1.ábra $F(t)$ függvény [5]

A gépalkatrész használati idejében a tönkremenetel valószínűsége 0 és 1 közötti értéket vehet fel a mellékelt függvény szerint. A 0 érték azt jelenti, hogy az esemény, azaz a tönkremenetel nem következik be, az 1 pedig az esemény, azaz a tönkremenetel bekövetkezését jelenti. Ahol a görbe lesz az $f(t)$ függvény.

A valószínűség eloszlás függvény ennek az $f(t)$ függvénynek az idő szerinti első deriváltja:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$



1.2.ábra $f(t)$ függvény [5]

A normális eloszlással vagy másképpen Gauss-eloszlással a normális folyamatok jellemezhetők. A sűrűségfüggvény képe jellegzetes szimmetrikus görbe, a Gauss-féle haranggörbe, ahol t helyen a függvénynek maximuma van. A meghibásodási ráta az alábbiak szerint számítható az előző függvényt figyelembe véve egy kiválasztott tetszőleges t időpillanatban, mely időpillanatot gammával jelölve a függvény pillanatnyi értéke a leírt képlettel számítható:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)}$$

Egy másik jellegzetes eloszlás az exponenciális eloszlás. Az exponenciális eloszlás jellegű jelenségek, az időtartam problémákkal jellemezhető események. Például a berendezés élettartama valamilyen hirtelen hatás következtében lerövidül.

A valószínűségi függvény exponenciális eloszlás esetén az alábbi összefüggéssel írható fel:

$$f(t) = \frac{1}{T} e^{-\frac{1}{T}t}$$

Ebbe a képletbe helyettesítjük x -et, azaz $f(x) = \frac{1}{T} e^{-\frac{1}{T}x}$, majd ezt pedig az $F(t)$ függvénybe, ahol T az exponenciális eloszlás paramétere, és egyben az élettartam várható ideje. Ez esetben: [6]

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx = \frac{1}{T} \int_0^t e^{-\frac{x}{T}} dx = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$$

A már korábban kifejezett lambda - összefüggésbe behelyettesítjük a kiszámolt függvényeket: $f(t)$ -t és $F(t)$ -t, majd leegyszerűsítjük.

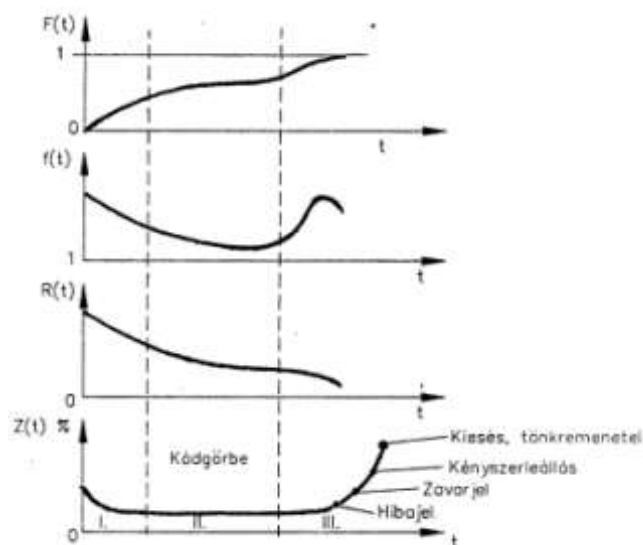
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\frac{1}{T} e^{-\frac{1}{T}t}}{1-(1-e^{-\frac{1}{T}t})} = \frac{1}{T}$$

Ez tehát azt jelenti, hogy exponenciális eloszlás esetén a meghibásodási ráta megegyezik az élettartam várható idejével.

A meghibásodás valószínűsége a következő pillanatban:

$$Z(t) = \frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{R'(t)}{R(t)}$$

Ahol a tönkremenetel valószínűségének kiegészítő értéke: $R(t) = 1 - F(t)$



1.3.ábra A gép tönkremenetelt kifejező matematikai függvények [5]

A kád görbe „a meghibásodás valószínűségét fejezi ki az idő függvényében.” A görbe segítséget ad a diagnosztikai mérési pontok meghatározásához. A legmegfelelőbb mérési pont a görbe második szakaszának a végén található, mivel itt már nagy a meghibásodás valószínűsége. A kád görbe a nevét az alakjáról kapta, amely hasonlít egy kád hossz keresztmetszetére. A görbét 3 szakaszra oszthatjuk:

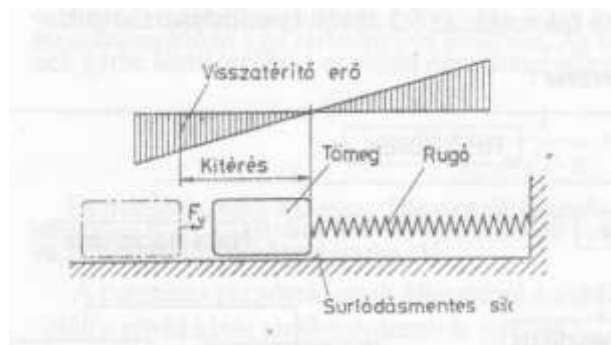
- bejáratás szakasza
- normális üzem szakasza
- meghibásodás szakasza

Minden gépnek, az üzembe helyezése után van egy bejáratási szakasza, amelyben sokkal nagyobb a meghibásodás valószínűsége. Azonban a meghibásodásoknak a valószínűsége a bejáratási idő növekedésével egy bizonyos idő után csökkenő jellegű.

Miután a gép meghaladta a bejáratás üzemóráját, átlép a normális üzem szakaszába. Ebben a részben lesz a meghibásodások valószínűsége a legkisebb.

Egy előre meghatározott üzemóra eltelte után, a meghibásodások valószínűsége egyre nagyobb lesz. Ezt a szakaszt a meghibásodások szakaszának nevezzük. A szakasz elején a hiba előfordulásának valószínűsége lassan növekszik, majd hamarosan megjelenik az első hibajel. Ha ebben a pillanatban nem fordítunk időt a hiba kiküszöbölésére, akkor megjelenik a meghibásodás következő jele, a zavarjel. Ilyenkor már túlzott melegedés, vibráció lép fel, és amennyiben ezt a karbantartó figyelmen kívül hagyja, akkor bekövetkezik a kényszerleállítás. Ebben az esetben, még javítható a gép, de ha a javítás nem történik meg, akkor eljutunk a teljes tönkremenetelhez.

2. A legfontosabb rezgésjellemzők

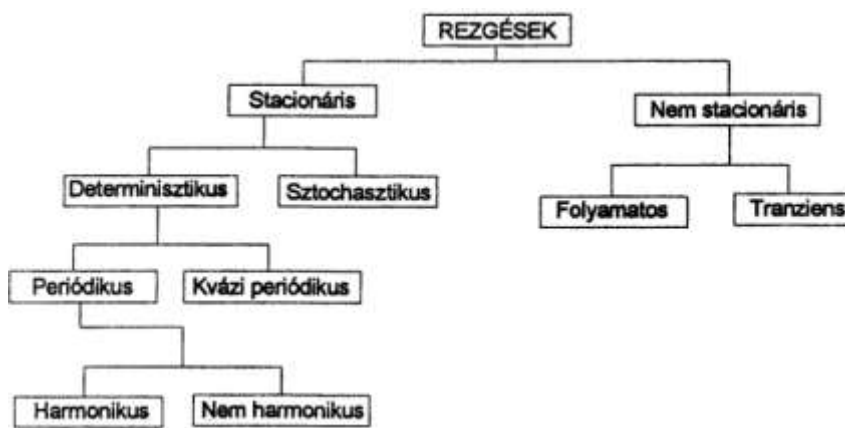


2.1.ábra Tömeg-rugó rendszer rezgései [5]

Az ipari területen üzembe helyezett forgó gépek nem merev testek. A gép sok alkatrészből tevődik össze és mindegyik alkatrész más-más rezgéseket hoz létre. Mindennapi életünkben gyakran találkozunk periodikus jelenségekkel (pl.: autók lengéscsillapítóinak mozgása). Általános megfogalmazás szerint rezgésről akkor

beszélünk, ha egy referencia hely környezetében valamilyen jelenség ismétlődik és periodikusan változik. Ez a mennyiség az időnek periodikus függvénye. Ha egy rugóra kis testet függesztünk fel, majd a rugót kicsit megnyújtjuk és elengedjük, akkor a ráakasztott kis test az egyensúlyi helyzet körül a két szélső helyzetet felváltva érintve, periodikus mozgást fog végezni. Az ábra ezt szemlélteti. A karbantartás a gépeknél nagyon fontos dolog, mert ezzel a gépek élettartamát meg tudjuk növelni akár a többszörösére is.

A rezgések felosztása sokféle módon történhet. A 2.2-es ábrán a rezgések matematikai rendszerezése látható.



2.2.ábra Rezgések matematikai felosztása [5]

A rezgéseket két nagy csoportba lehet osztani, vannak a stacionárius és a nem stacionárius rezgések. Stacionárius rezgésről akkor beszélünk, ha a rezgések átlagaik állandók (pl. amplitúdó). Determinisztikus rezgésről beszélhetünk, ha a rezgések időfüggvényként írhatóak fel. A stacionárius rezgések másik csoportja a sztochasztikus rezgések, amelyek csak valószínűségi változó segítségével írhatóak fel. A műszaki diagnosztikában a legnagyobb jelentőséggel bíró rezgések a determinisztikus rezgések. E csoporton belül a legfontosabb a harmonikus rezgőmozgás.

A rezgőmozgás leírásához nézzünk meg néhány fontos fogalmat, úgy mint kitérés, amplitúdó, rezgésidő, frekvencia.

2.1. Amplitúdó

Vegyünk fel egy y tengelyt, ez legyen az egyensúlyi helyzet, azaz $y=0$. Az egyensúlyi helyzettől mért előjeles távolság lesz a rezgés egy egyenes menti kitérése. A legnagyobb kitérést, az $y_{\max}$ -ot, amplitúdónak nevezzük. Így tehát a harmonikus rezgőmozgáshoz rendelhető körmozgás pályasugara és az amplitúdó megegyezik egymással.

Az amplitúdó szó jelentése tágasság. Az amplitúdó időben változó mennyiségek legnagyobb eltérése az egyensúlyi állapottól. Jele: **A**.

A rezgésdiagnosztikában is a rezgések tágasságát, azaz nagyságát jelenti.

2.2. Frekvencia

A rezgésidő vagy periódusidő az az időtartam, amely alatt egy teljes rezgés végbemegy. Jele: T . A rezgésszám. A rezgésszám vagy frekvencia, az időegység alatt végbement rezgések száma. A rezgésszám jele: f . A frekvencia latin eredetű szó, jelentése: gyakoriság. A harmonikus rezgés frekvenciája a periódusidő reciproka.

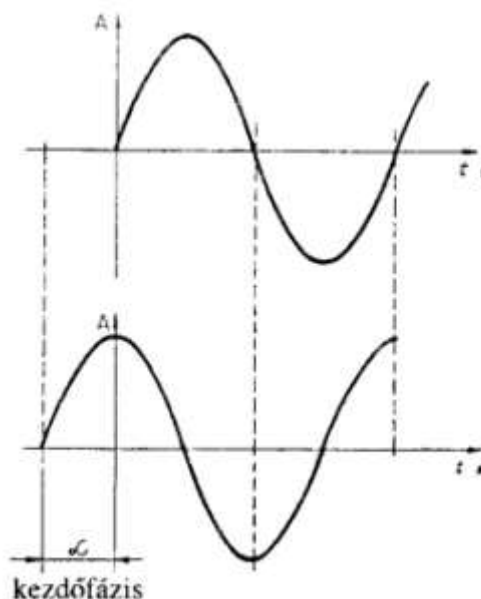
$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = 2\pi/\omega$$

f : frekvencia, T : periódusidő, ω : szögsebesség

2.3. Fázisszög jelentősége

Ha a rezgést elkezdjük megfigyelni akkor természetesen nem abban a pillanatban vesszük észre amikor az egyensúlyi állapotban vagy ahhoz közel van hanem



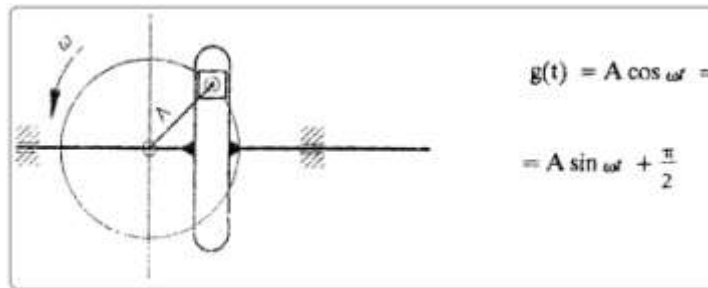
2.3.ábra Azonos irányú, különböző fázisú rezgések [2]

amikor a legnagyobb az amplitúdója. A harmonikus rezgésnek megfeleltethető körmozgás pályakörén az a pozíció legyen a kitüntetett helyzet, ami megfelel annak, hogy a rezgő test alulról fölfelé éppen áthalad az egyensúlyi helyzeten. Ehhez képest megadható. Hogy hány radián szögre fekszik a forgás irányában az a pont, ahol a rezgőmozgás megfigyelését elkezdtük. Ezt a radiánban kifejezett alfa szöget nevezzük a mozgás kezdőfázisának. Két azonos frekvenciájú és amplitúdójú harmonikus rezgés között az úgynevezett fáziskülönbséget definiálhatjuk. Ez a két mozgás kezdőfázisainak a különbsége.

A rezgőmozgást végző test kitérését az időfüggvényében ábrázolva a mozgás kitérés-idő függvénygörbéjét kapjuk meg. Ha ezt a mozgást leképezzük, akkor a sinus-függvényre hasonlító görbét kapunk. Az olyan mozgást, ahol melynél a kitérés-idő függvény sinus-függvény, harmonikus rezgőmozgásnak nevezzük.

2.4. Harmonikus rezgőmozgás

Harmonikus rezgőmozgás az olyan mozgás, ahol a kitérés-idő függvény sinus-függvény. Harmonikus rezgőmozgás (pl. inga, rugóra függesztett rezgő test) esetén az amplitúdó az egyensúlyi vagy nyugalmi helyzettől számított legnagyobb kitérést jelenti. Minden harmonikus rezgőmozgást végző kisméretű testhez létrehozhatunk egy olyan egyenletes körmozgást, amelyben a körmozgást végző pont vetülete együtt mozog a



2.4.ábra Kulisszás hajtómű [5]

rezgő kisméretű testtel. Az egyenletes körmozgás és a harmonikus rezgőmozgás szoros kapcsolata miatt, az egyenletes körmozgás során megismert mennyiségek és összefüggések felhasználhatók a rezgőmozgás leírásában.

Harmonikus rezgőmozgást végez például a kulisszás hajtómű.

2.5. Út, sebesség és a gyorsulás közötti összefüggés

Mivel a test egyenletes körmozgást végez, ezért $\varphi = \omega \cdot t$, a körfrekvencia pedig kifejezhető az alábbi összefüggéssel: $\omega = 2\pi \cdot f$. Utóbbit behelyettesítve a kitérésre kapott összefüggésbe, a következő összefüggést kapjuk $y = A \cdot \sin \omega t$, amely valóban egy harmonikus rezgés. Amplitúdója a kör sugara, körfrekvenciája pedig megegyezik az eredeti körmozgás szögsebességével.

A harmonikus rezgőmozgást végző test sebessége minden pillanatban a referencia-körmozgást végző test kerületi sebességvektorának rezgésirányú komponensével egyezik meg. A rezgő test sebessége $v = v_k \cdot \cos \varphi = v_k \cdot \cos \omega t$, ahol v_k az egyenletes körmozgást végző test kerületi sebessége. Mivel $v_k = r \cdot \omega$ és $r = A$, így a harmonikus rezgőmozgást végző test sebessége

$$v = A \cdot \omega \cos \omega t$$

A sebesség abban a pillanatban a legnagyobb, amikor $|\cos \varphi| = 1$.

A rezgő test gyorsulását is meghatározhatjuk a referencia-körmozgás segítségével. A gyorsulás vektor iránya mindig ellentétes a kitérés irányával, ezért a gyorsulás:

$$a = -\omega^2 y = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

A gyorsulás nagysága is folyamatosan változik az idővel, a legnagyobb értéket akkor veszi fel, amikor $\sin\varphi=1$.

A harmonikus rezgőmozgást végző test gyorsulása egyenesen arányos a kitéréssel, és azzal ellentétes irányú. A harmonikus rezgés pillanatnyi sebessége az elmozdulás integrálja, tehát ha integráljuk 0-tól ω -ig azaz elfordulásig, akkor A állandót kiemeljük, sinus integrálja cos és a belső függvénnyel szorzom, azaz ω -val.

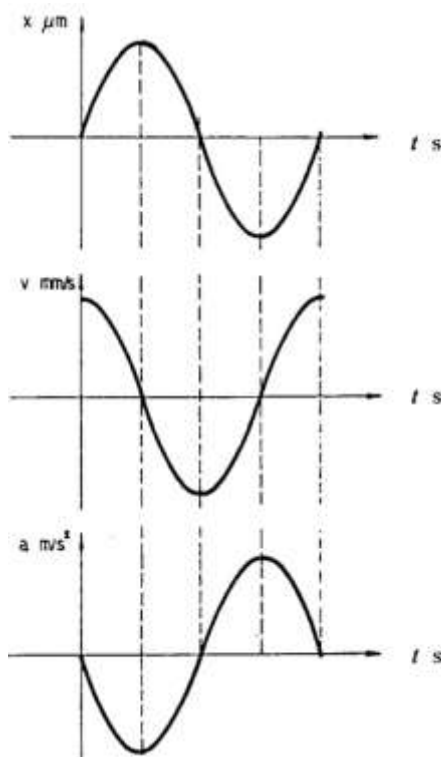
A harmonikus rezgés pillanatnyi gyorsulása a sebesség integrálja, A megint konstans, a cosinus integrálja mínusz sinus és a belső függvénnyel, azaz ω^2 -el kell szorozni.

Mivel a sinus és a cosinus függvények értéke 1, ezért a kitérés, a sebesség és a gyorsulás maximális értékei közötti összefüggés A maximum ponton 1 lesz a sinus és a cosinus értéke is.

$$x_{\max} = A;$$

$$v_{\max} = A\omega;$$

$$a_{\max} = A\omega^2$$



A függvény x esetén sinus, ami 0-nál 0 értéket vesz fel.

A v függvény esetében cosinus függvényről beszélhetünk, ami 0 értéknél 1-et vesz fel, azaz fordított képe az x függvénynek.

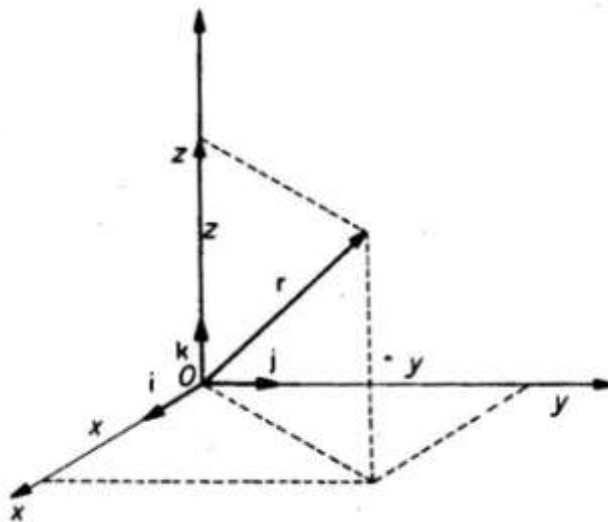
Az a esetében a mínusz miatt megfordul a függvénygörbe és megint sinus görbét kapunk.

2.5.ábra Összefüggés a harmonikus rezgőmozgás kinematikai jellemzői között [2]

3. A mozgás animáció elméleti alapjai

3.1. Egy pont térbeli mozgásának leírása

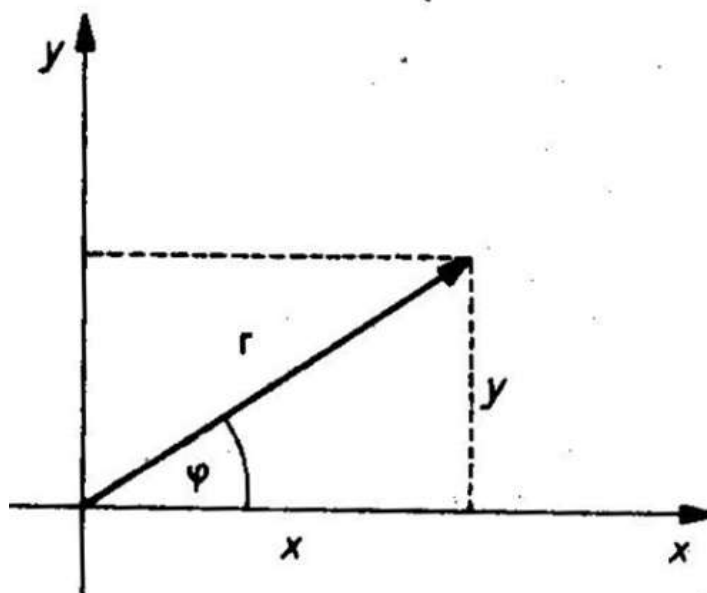
A pontszerű test olyan test, amelynek méretei a vizsgált távolságokhoz képest elhanyagolhatók. Minden pillanatban meg tudjuk adni a test helyét egy másik testhez viszonyítva. Az a merev test, amihez megadjuk az anyagi pont helyét a vonatkoztatási rendszer. Vegyünk fel ebben a rendszerben egy O kezdőpontot, és három egységvektort (i, j, k), amelyek egymásra merőlegesek. Majd vegyünk fel három egyenest az O ponton keresztül a három egységvektor irányában. Ezek lesznek az x, y, z koordinátatengelyek. Az anyagi pont helyét jellemezzük az r helyvektorral. Ez az O középponttól indul, az anyagi pontig húzott irányított szakasz. Az r vektor előállítható az i, j, k egységvektorok szám szorosainak összegeként.



3.1.ábra Descartes-féle koordinátarendszer[6]

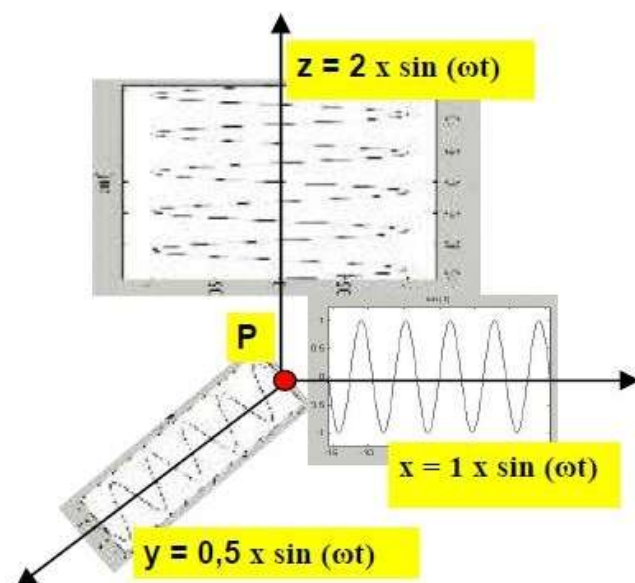
Az r vektor megadható az irányával és a nagyságával is. Síkbeli mozgás esetén ez két jellemzőt jelent: a r vektor hosszát és egy tetszőlegesen választott φ szöget. A Descartes-féle derékszögű koordináták kifejezhetők az alábbi koordinátákkal:

$$x=r*\cos\varphi \text{ és } y=r*\sin\varphi$$



3.2.ábra Az r helyvektor megadása[6]

Ha a pont elmozdul, akkor ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a pont különböző időpillanatokban elfoglalt helyzetéhez különböző, időtől függő helyvektorok tartoznak. Ebből következik, hogy a mozgáspálya egy geometriai alakzat. Egy pont mozgása közben a pályagörbén megtett távolság a megtett úttal lesz azonos. A pont mozgásának meghatározásánál az jelentheti a problémát, hogy a gép egy pontja a tér minden irányába szinuszos mozgást végez, amely azonos frekvenciájú, de különböző amplitúdóval rendelkezik, amint az ábra is mutatja. A mozgás animáció során

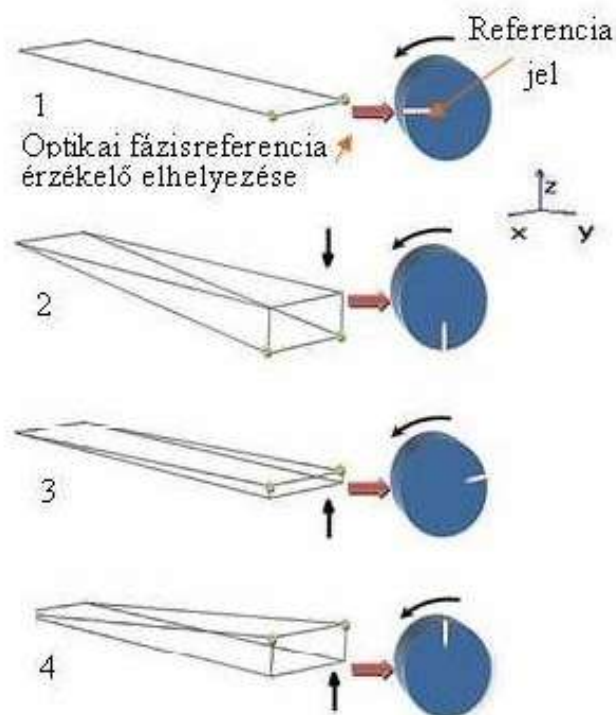


3.3.ábra A „P” pont térbeli rezgőmozgása[1]

több pont mozgását kívánjuk egymással összehasonlítani, így a mozgások amplitúdójának figyelembe vétele nem elegendő önmagában az összehasonlításhoz. Mivel a gépek valóságos szinuszos rezgéseit leíró harmonikus függvényt, nemcsak az amplitúdó és a periódusidő, hanem a fázisszög is jellemzi, ezért ezt használjuk fel a mozgás animáció elvégzésére.

3.2. A mozgás animáció megvalósítása rezgés és fázisszög egyidejű mérésével

Akkor tekinthető egy pont kitérése minden mérési irányban meghatározottnak, ha létrehozható olyan mérési összeállítás, amellyel az adott pillanatra vonatkozó rezgés-amplitúdó mellett, meg lehet határozni az adott pillanatra vonatkozó fázisszöget is. A mozgás animációs vizsgálat alapelve a mozgástörvényt használja fel egy adott géppont elmozdulásának leírására. A korszerű mérőműszereknek köszönhetően egyszerre mérhetjük a rezgés amplitúdóját és a fázisszögét. A rezgés fázisszöge a rezgő mozgást végző pont pozíciója egy adott pillanatban, egy fix kezdőelemhez vagy egy másik rezgőmozgást végző elemhez viszonyítva. A diagnosztikai mérések során a gép forgatásával kapcsolatos elmozdulásokról akarunk információt kapni. A valóságban ezt úgy lehet elérni, hogy a kiválasztott tengelyre ragasztjuk fel a referencia jelet adó fényvisszaverő csíkot, majd ehhez képest mérhetők a gép kiválasztott pontjai.

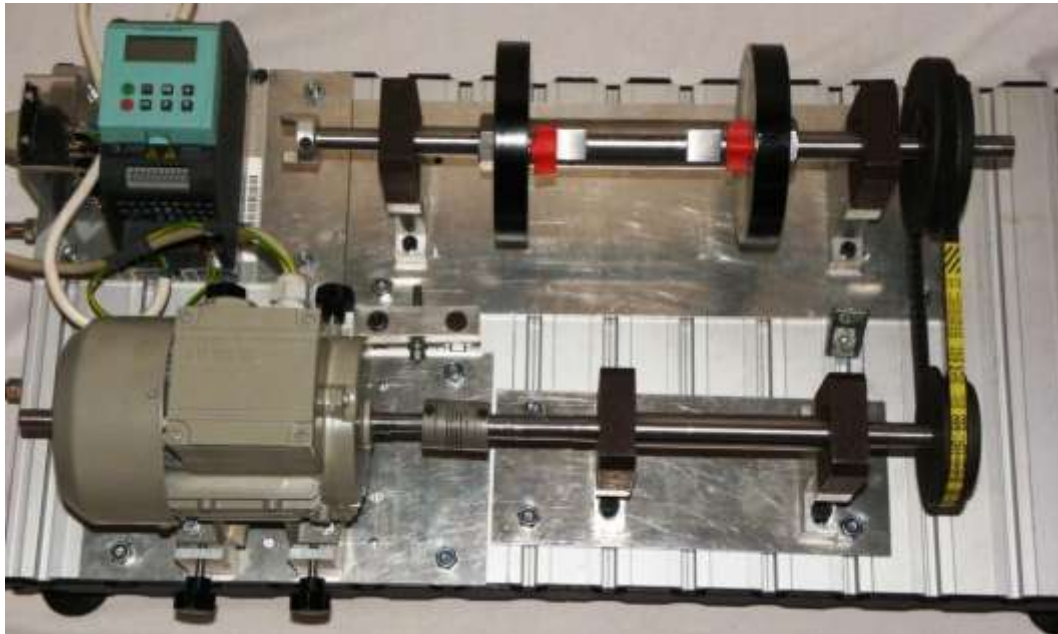


3.4.ábra A rezgés kitérés és fázisszög kapcsolata [1]

Amennyiben a gép több pontjának mozgására vagyunk kíváncsiak, akkor a vizsgált test fő pontjainak amplitúdóját, frekvenciáját és egy vonatkoztatási ponthoz mért fázisszöget kell megmérni. Ehhez az összes mérést szinkronizálni kell. Majd a műszer az érzékelt rezgésjelet feldolgozza, meghatározza a megadott frekvenciákon a rezgés amplitúdóját és fázisszögét. A mérések alapján a szerkezetileg fontos csomópontoként három adat áll rendelkezésre. Ezek együttesen írják le, hogy a vizsgált mérőpont milyen térbeli mozgást végez.

4. Mozgás animációs modul tervezése a Wibroshow próbapadhoz

4.1. A Wibroshow próbapad általános bemutatása



4.1.ábra Wibroshow próbapad felépítése[1]

A 4.1.-es ábrán a próbapad felépítése látható. Ennek alapját egy pneumatikus rendszerek összeszereléséhez Festo által gyártott alaplemez jelenti. Mint látható az alaplemez hornyokkal van ellátva és ez biztosítja számunkra a különböző modulok felszerelhetőségét és változtatását. A hornyok 50mm - es távolságra vannak egymástól. A felszerelhető modulok alapját egy alumínium lemez jelenti, amelyen a furatok a próbapad hornyainak megfelelően vannak elhelyezve. Mivel minden modul külön-külön szerelhető fel, ezért sokféle változata van az összerakásnak. A könnyebb hordozhatóság érdekében az alaplap két oldalán található horonyba egy-egy fül van felszerelve. A próbapadra felszerelhető összes elem hajtását egy Siemens 1LA7-063-2AA típusú motor biztosítja. Ennek elsődleges feladata a forgó mozgás fokozatmentes megvalósítása, de jelentős funkciója van a gépbeállítási műveletek megvalósításában is. A méréseinkhez fontos, hogy a hajtómotor fordulatszáma széles tartományban változtatható legyen. Ahhoz, hogy ez megvalósítható legyen, olyan frekvenciaváltó van felszerelve a próbapadra, amely együttműködik a motorral. A fokozat nélküli fordulatszám változtatás mellett, látható az aktuális hajtási frekvencia, kétirányú forgatásra képes, valamint szabályozható a felfutási és leállási időtartama. Ezekkel a

paraméterekkel a Siemens Sinamics G110 típusa rendelkezik, amely a Siemens motorokkal kommunikál.

4.1.1. A Wibroshow próbapad főbb műszaki adatai [1]

Méret: 700 mm x 350 mm x 300 mm

Horony osztás : 50 mm

Össztömeg : 15 – 25 kg (a kiépítéstől, modulszámtól függően)

Hajtómotorok típusa : Siemens 1LA7-060-2AA /Siemens 1LA7-063-2AA

Hajtómotorok teljesítménye: 180 W

Hajtómotorok fordulatszáma: 1350 /2860 1/min

Frekvenciaváltó típusa : Siemens Sinamics G110

Fordulatszám tartomány: 0 – 3000/6000 f/perc

Alkalmazott egységes tengelyvég átmérő : Ø 14 mm

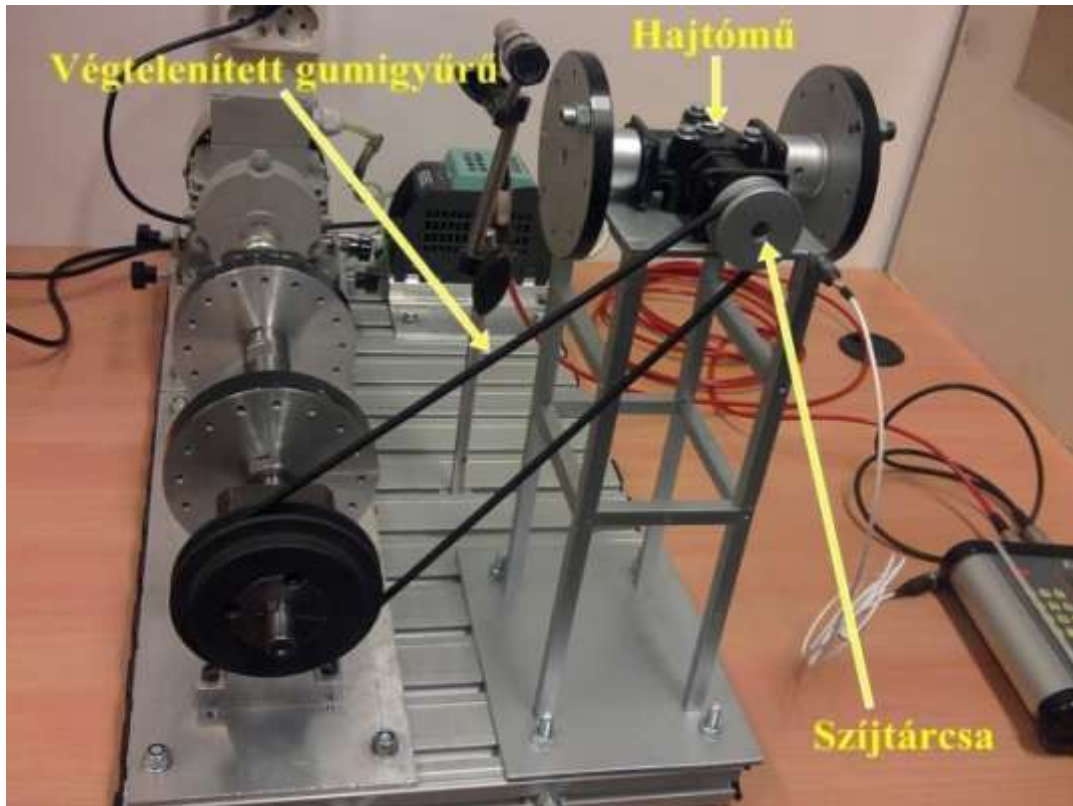
Alkalmazott csapágytípus: SKF 6202



4.2.ábra Wibroshow próbapad[saját szerkesztésű kép]

4.2. A mozgás animációs összeállítás a Wibroshow próbapadon

4.2.1. A modul meghajtása



4.3.ábra A mozgás animációs modul meghajtása[saját szerkesztésű kép]

Az általam készített vázszerkezet egy alumínium alaplagra van rögzítve. A vázszerkezet tetején a méreteknak megfelelő alumínium lemez van felfogatva. Az ábrán látható, hogy a szerkezet tetején helyezkedik el a hajtómű. Ennek egy meghajtása és két kihajtása van. A meghajtást egy szíjtárcsa segítségével oldjuk meg. A hajtómű 1:1 –es áttétellel rendelkezik. A hajtást a két tengely között fogaskerekekkel van megoldva. A tengelyek alátámasztását két-két csapágy végzi amelyek Seeger gyűrűvel vannak rögzítve. A hajtómű meghajtása egy végtelenített gumigyűrű segítségével történik, amely csatlakozik az előbb bemutatott Wibroshow próbapadhoz.

4.2.2. Gerjesztés változtatásának megoldása

A hajtómű két kimenetén egy - egy $\varnothing 100\text{mm}$ – es átmérőjű tárcsa van elhelyezve, amelyen 8 db M6 menetes furat található. Ezek segítségével tömegeket

tudunk felhelyezni a tárcsára és ezzel a gerjesztést is nagymértékben változtatjuk. A tömegek felhelyezésével a tárcsákat a kiegyensúlyozatlanság állapotába tudjuk hozni, amely radiális irányú rezgéseket eredményez. A tömegek egymáshoz viszonyított elhelyezkedését is meg tudjuk változtatni. A tömegeket tehetjük a két tárcsa ugyanazon oldalára és tehetjük ellentétesen is. Ezt ábrázolja a 4.3-as ábra. Így a vázszerkezetre ható erők, valamint vázszerkezeten mért méréseink eredményei nagymértékben megváltoznak.



4.4.ábra Próbátömegek elhelyezése a tárcsán[saját szerkesztésű kép]

4.2.3. Fordulatszám változtatásának jelentősége

A próbapadra felszerelt motor és frekvenciaváltó segítségével, különböző fordulaton tudjuk elvégezni a méréseinket. A kiegyensúlyozatlanság esetén a fordulatszám növelésével a radiális irányú rezgések négyzetesen nőnek [7]. A fordulatszám növelésével a vázszerkezetre ható erők megnőnek, azaz a rezgések sebessége is növekszik. A szerkezetünk sokkal nagyobb erőhatásoknak van kitéve. A különböző fordulatszámon mért értékek megmutatják számunkra a vázszerkezeti hibákat, a lazaságokat. Minden hibának megvan, hogy melyik frekvencia tartományba sorolható és ezek ismeretében a mért eredményekből kiolvasható a hiba forrása.

4.2.4. Vázmozgások kimutatása a különféle gerjesztések hatására



4.5.ábra A váz elemeinek összekapcsolása

A vázszerkezetet úgy szereltem össze, hogy a merevítéseknél az alumínium helyett acél kockákat csavaroztam be, amely lehetővé teszi, hogy a mérőeszközt mágneses úton is rá tudjuk csatlakoztatni, ezáltal mérhetővé válnak a vázszerkezeten létrejövő rezgések. A mozgás-animációs módszer segítségével a valóságos elmozdulás könnyen kimutatható, így már nem csak számokból olvasható ki a szerkezet mozgása.

4.3. Az elkészített modul jellemző műszaki paraméterei



4.6.ábra Az elkészített mozgásanimációs modul

Méret: 200 mm x 150 mm x 300 mm

Össztömeg : 4 kg

Alkalmazott egységes tengelyvég átmérő : Ø 10 mm

Kimenő tengelyen lévő tárcsa átmérő : Ø 100 mm

Szíjtárcsa átmérő: Ø 40 mm

Meghajtás : végtelenített gumigyűrűvel

5. Mozgás animációs mérés során alkalmazott műszer és szoftver bemutatása

5.1. VMI Easy Viber 64 rezgés analízátor jellemzői

A vázszerkezet csomópontjain történő méréseket egy kétcsatornás rezgés analízátorral tudjuk elvégezni. Ez a műszer a rezgéseket és a fázisszöget egy időben méri.



5.1.ábra VMI Easy Viber 64 rezgésanalízátor[8]

A fázisszög mérésére a tárcsára felragasztott fényvisszaverő csík szolgál, ez az úgynevezett „trigger” jel. A jel és az optikai fázisreferencia mérő segítségével nem csak a fázisszöget hanem a fordulatszámot is meg tudjuk határozni.



5.2.ábra Easy Viber 64 és a hozzá tartozó eszközök[8]

Műszer tulajdonságai:

- nagyfelbontású spektrumok felvétele
- burkológörbe-analízis, fordulatszám-mérés

- rezonanciakeresési funkciók (pl. felfutásvizsgálat, leállásvizsgálat)
- különleges adatgyűjtési funkció gépmozgás animációhoz
- képességek max. kétsíkú dinamikus forgógép-kiegyensúlyozáshoz

5.2. VMI Vibshape szoftver jellemzői

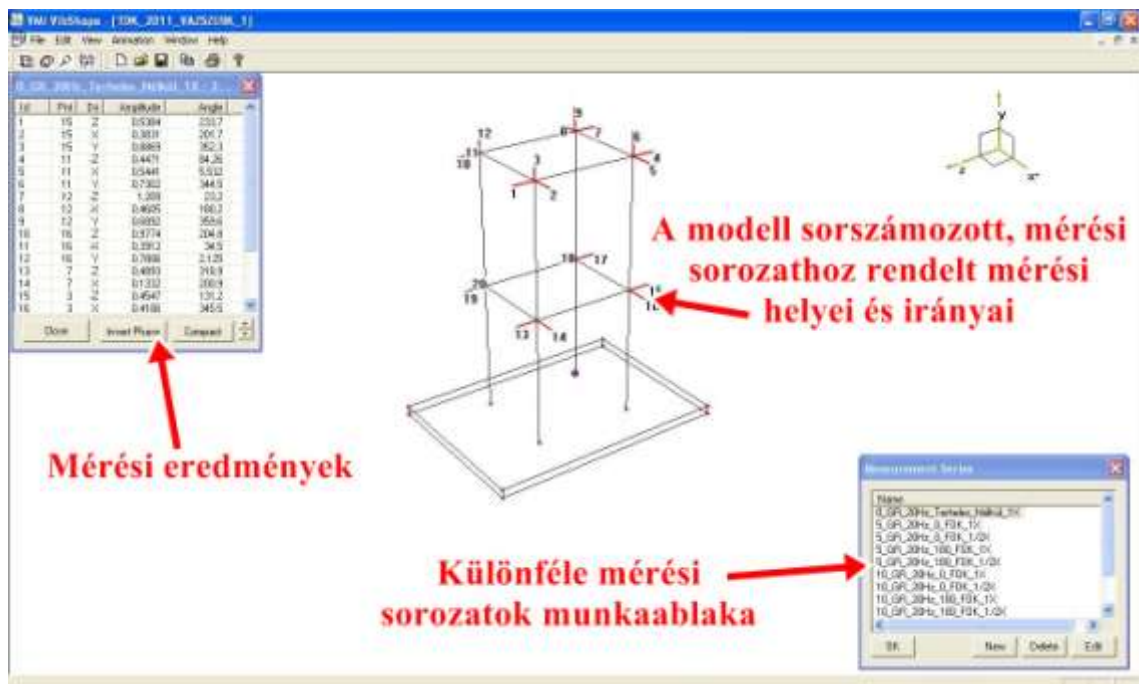
A VibShape mozgás animációs szoftver segítségével láthatóvá tudjuk tenni azokat mozgásokat amelyek vázszerkezetek, tartályok, csőhálózatok, gépek gyors tönkremenetelét okozhatják. A szoftver lengéskép módszerén alapuló diagnosztikai eljárással gépalapok törései, repedései, tartószerkezetek meggyengült pontjai jól behatárolhatók, állapotuk megbecsülhető. E roncsolásmentes vizsgálati módszer nagy előnye - különösen nagyméretű beton alapok esetében - a szerkezet teljes keresztmetszetére vonatkozó indikáció, továbbá a klasszikus roncsolásmentes vizsgálatokhoz képest a szerkezet dinamikus viselkedéséről is információval szolgál.

Tulajdonságok:

- egyszerű kezelés
- gyors modellkészítés
- látványos eredmények
- nyomtatható ábrák
- az animációk a demo programmal együtt terjeszthetők és futtathatók
- műszerfüggetlen

A felharmonikus mozgások megjelenítéséhez, nemcsak a gerjesztő frekvenciájú mozgások, hanem annak többszörösein található rezgések is modellezhetők.

A 5.3-as ábrán látható a mozgás animációs szoftver és az abban megtervezett vázszerkezet. A bal felső sarokban az Easy Viber 64 rezgés analizátorról betöltött adatok láthatók. A jobb alsó sarokban a különböző körülmények között végzett méréseink láthatók. Amelyik mérést kijelölöm annak az adatai jelennek meg a bal felső sarokban. A szoftverben elkészített modell nagyítható és bármely irányba elforgatható. A mozgásokat 25-szörös nagyításban mutatja.



5.3.ábra Mozgás animációs modul modellje a Vibshape szofver tervezési képernyőjén

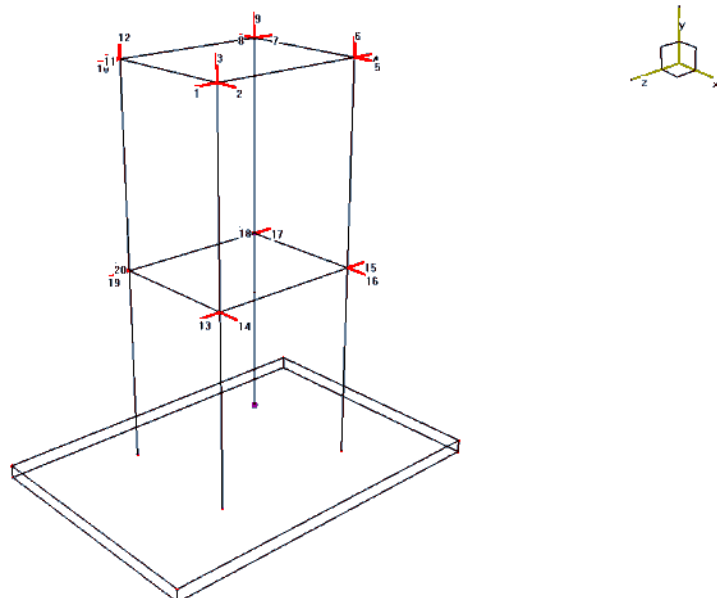
6. Mozgás animációs kísérletek, a vázszerkezet mozgásának diagnosztikai vizsgálatára

6.1. A mozgás animációs mérés előkészítése, számítógépes modellalkotás

A gépek és a gépeket tartó szerkezetek elmozdulásának megjelenítése a diagnosztikai szakemberek régi vágya. Ezek az elmozdulások olyan kicsik és olyan gyorsak, hogy az emberi szem nem tudja követni. A technika fejlődésével a piacon megjelent több gyártó is amelyek forgalmaznak, olyan műszereket amelyek képesek egy vagy több frekvencián a rezgés- amplitúdó és a fázisszög egyidejű mérésére. A kapott mérési adatok felhasználásával és a korszerű számítógépes szoftverek segítségével a szerkezet mozgása könnyen kimutatható. A módszer bizonyításaként, az általam tervezett vázszerkezeten szeretném bemutatni, amelyet a Wibroshow próbapadra szereltem fel.

A vizsgált szerkezet mozgásainak megjelenítéséhez a VMI Vibshape mozgás animációs szofverre és a szintén VMI Easy Viber64 rezgés analízátorra van szükség. A mozgás animációs mérések során a következő lépéseket kell betartani:[3] [4]

1. A geometriai adatok felvétele, a gép mérési pontjainak kijelölése
2. Modell alkotás a geometria arányok megtartásával a Vibshape Tm szoftverben
3. Mérési pontok tervezése a berendezési pontoknak megfelelően
4. A mérési irányok tervezése
5. Mérés végrehajtása a mérési irányok sorrendjében Easy Viber64 rezgésanalizátorral
6. A mérési adatok fordulatszámnak megfelelő visszatöltése a Vibshape TM szoftverbe
7. A modell mozgásának elemzése, a mérési eredmények kiértékelése, dokumentálása



6.1.ábra Terhelés mentes vázszerkezet[saját szerkesztésű ábra]

A mérések elvégzéséhez tervezett vázszerkezetet saját kezűleg készítettem. A geometriai adatok ismeretében a Vibshape szoftverben megszerkesztettük az egyszerűsített modellt, amely az 5.1-es ábrán látható. A szoftverben Descartes – koordináta-rendszerben építhetjük fel a modell egyszerűsített vázát. Esetemben ez egyszerű volt, mivel egy vázszerkezetéről van szó. A modell készítésekor fontos a geometriai arányok betartása és az egyes géprészek összekapcsolása, hiszen az elmozdulások ennek függvényében lesznek láthatók. A következő lépés a mérési helyek

kijelölése, majd a mérési irányok megtervezése úgy, hogy a valóságban is hozzá lehessen férni. Az 5.1-es ábrán láthatók a mérés elvégzéséhez kijelölt mérőpontok, melyeket a vázszerkezet csomópontjain jelöltem ki. A felső négy pontban mindhárom koordináta tengely mentén 3 irányból, az alsó merevítők között viszont csak két y és x irányból lehet a méréseket. A Z irányú mérések nem megvalósíthatók a modell ezen pontjain.

A mérési sorrendet úgy alakítottam ki, hogy a mérés minél egyszerűbben történjen. A mérési pontokon sorban haladtam. A mérési irányok mellett meg kell tervezni a mérési sorozatokat is, amelyek a szoftverben táblázat formájában jelennek meg. Tartalmazza a mérési pontokat, irányokat és az ezekhez tartozó amplitúdó és fázisszög mérési eredményeket. Ez a táblázat ahhoz szükséges, hogy a különböző fordulaton vagy különböző tömegekkel mért méréseket el tudjuk különíteni egymástól.

6.2. A mozgás animációs mérések elvégzése



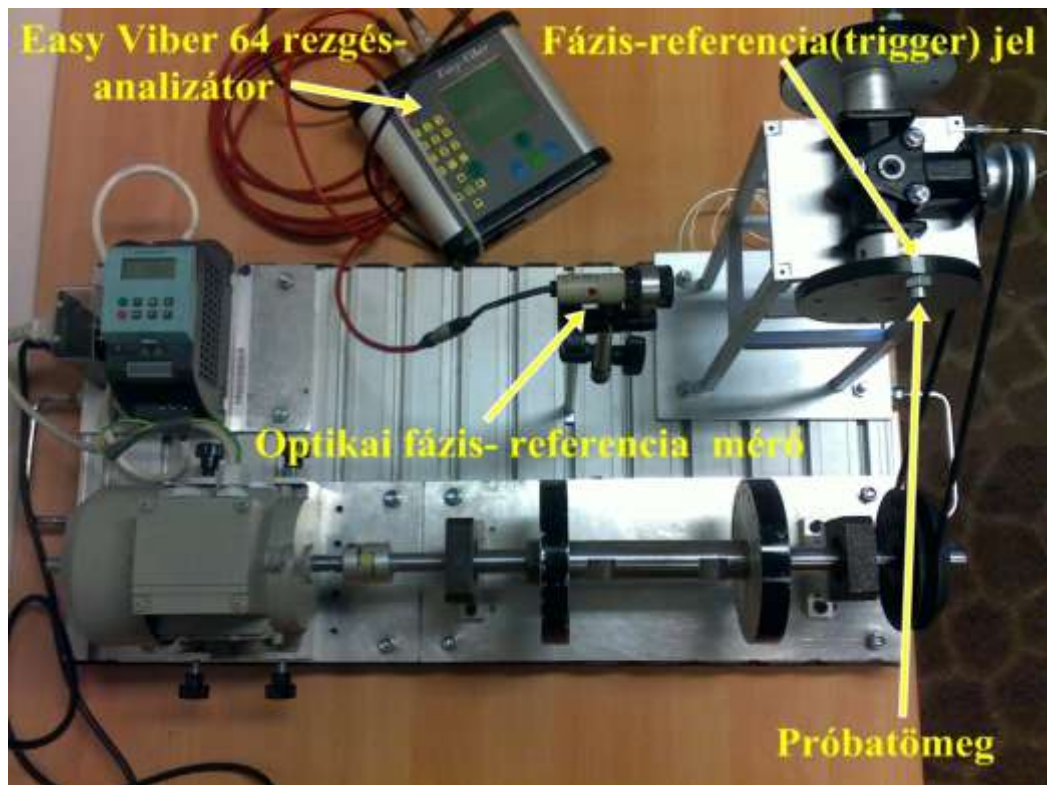
6.2.ábra Wibroshow próbapad[saját szerkesztésű kép]

Az ábrán látható alkalmazott eszközök:

- A hajtómotor Siemens 1LA7-063-2AA= 180W, $n = 786 \text{ 1/min}$,

- Frekvenciaváltó Siemens Sinamics G110, a motor max. fordulatszáma 3000 1/min,
- VMI Easy Viber64 rezgés analízátor optikai fázisreferencia mérővel,
- Mérleg 1 gr pontossággal
- Mozgás animációs modul

Miután a méréseket a Vibshape szoftver segítségével megterveztük, a már elkészült modellen elvégezzük a kijelölt pontokon a méréseket. A mérés első részében az összeállított mérési rendszer saját frekvenciáját kell megkeresnünk. Ez több szempontból is fontos számunkra. Az egyik szempont az, hogy ha a rendszert rezonancia frekvenciáján működtetjük, akkor teljesen másképp viselkedik és szét is rázhatja magát. Éppen ezért a próbapad védelme érdekében ebben a rezonancia sávban nem működtetjük. A másik számunkra kedvező szempont, hogy a rezonancia sávban kialakult mozgásokat tudjuk tanulmányozni. Ezt a vizsgálatot három féle képen tudjuk elvégezni. A felfutás, a kifutás vagy a kalapácsütés teszt módszerrel. Mivel a VMI Easy Viber64 a felfutás és a kifutásmérési lehetőséggel rendelkezik, ezért ezt a vizsgálati módszert választottam. A mozgás animációs méréshez ugyanaz az összeállítás szükséges, mint a kifutás vizsgálatához, ezért ez alapján határoztam meg a mozgás animációs mérésekhez használt fordulatszámot. A kifutás vizsgálat azt jelenti, hogy a motort a maximális fordulatszámra felpörgetem, ez a mi esetünkben 3000 fordulat/perc, majd leállítva hagyjuk, hogy szabadon kifusson a rendszer. A rendszer leállása közben mérjük a fordulatszámot és a fázisszöget az optikai fázisreferencia mérő készülékkel és a rezgéssebesség effektív értékét a rezgésérzékelővel. A szerkezetnél a rezonancia frekvenciák vízszintes irányban 40,5 Hz sajátfrekvencián 21mm/s, függőleges irányban 45,8 Hz sajátfrekvencián 13,5mm/s rezgéssebesség amplitúdó értékre adódtak. A mérés tervezésénél ezt a fordulatszámot nem akartam megközelíteni, ezért esett a választásom az 1200 1/min-es és az 1500 1/min-es fordulatszámot.



6.3.ábra Wibroshow próbapad a demonstrációs vázszerkezettel

Mivel a műszer két frekvencia mérésére is alkalmas, ezért a mérési eredményeket egyszeres és félszeres frekvencián rögzítette a rezgés analizátor. Azért választottam a forgási frekvencia felénél lévő mérést, mert ott a mért értékek megnőnek az egyszeres frekvencián mért értékekhez képest. A sajátfrekvenciák ismeretében meghatároztam a végleges mérési fordulatszámot, amely a vázszerkezet elmozdulásait megfelelően reprezentálja.

A mozgás animációs mérésekhez mindezek ismeretében a következő mérési sorozatokat alakítottam ki:

1. animációs mérés $n=1200$ 1/min= 20 Hz fordulatszámon
2. animációs mérés $n=1200$ 1/min= 20 Hz fordulatszámon mindkét tárcsán 5g tömeggel, mindkettő 0° -nál elhelyezve
3. animációs mérés $n=1200$ 1/min= 20 Hz fordulatszámon mindkét tárcsán 5g tömeggel, az első tárcsán 180° -nál, a második tárcsán 0° -nál elhelyezve

4. animációs mérés $n=1200 \text{ 1/min} = 20 \text{ Hz}$ fordulatszámon mindkét tárcsán 10g tömeggel, mindkettő tömeg 180° -nál elhelyezve
5. animációs mérés $n=1200 \text{ 1/min} = 20 \text{ Hz}$ fordulatszámon mindkét tárcsán 10g tömeggel, az első tárcsán 0° -nál, a második tárcsán 180° -nál elhelyezve
6. animációs mérés $n=1500 \text{ 1/min} = 25 \text{ Hz}$ fordulatszámon mindkét tárcsán 10g tömeggel, az első tárcsán 0° -nál, a második tárcsán 180° -nál elhelyezve

A mozgás-animációs vizsgálat elvégzése előtt a próbapadon rezgéssebesség RMS mérést végeztem kisebb-nagyobb tömegek felhasználásával mindhárom mérési irányban. Az 5g-os tömegekre azért esett a választásom, hogy a centrifugális erőhatás érzékelhető legyen. Ha ettől kisebb tömeget helyezünk a tárcsára, akkor a centrifugális erőhatás nem, vagy csak nehezen lenne érzékelhető. Két próbatömeggel is megvizsgáltam a szerkezetre ható rezgések változását, így először 5gr-ot, majd ennek a kétszeresét alkalmaztam.

Ezen előkészületek után már végrehajthatjuk a mozgás animációhoz szükséges méréseket. Amint már említettem, a mérési sorozatnál nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy minden mérési irány a szoftverben meghatározott módon, a megtervezett mérési irányban történjen. A rossz irányban elhelyezett mérőeszköz fázishibát és az animált modell szétesését eredményezi. A méréseket a tervezett módon először üresen, majd 5g-os próbatömeggel és végül 10g próbatömeggel végeztem el.

6.3. A mérési eredmények bemutatása

A méréseket annak érdekében végezzük, hogy bemutassuk a kiegyensúlyozatlanság káros hatását egy gépre vagy szerkezetre. Amit a valóságban az emberi agy nem képes feldolgozni, azt ezzel a mozgás animációs programmal nagyon jól lehet szemléltetni. A kiértékelést a következő szempontok alapján végeztük el:[1]

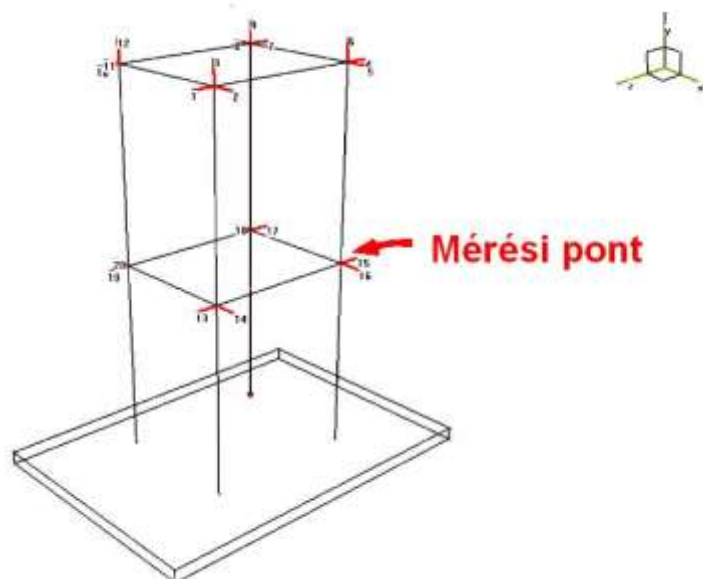
- Kimutatható-e a fordulatszám változás műszaki állapotra gyakorolt hatása?
- Milyen változást okoz a tárcsák kiegyensúlyozatlanságának növelése?

- Alkalmas-e a módszer a műszaki állapotban bekövetkezett változások megjelenítésére, illetve az adott állapot alapján diagnózis felállítására?

A kiértékelés előtt a rezgés- analizátorban tárolt adatokat RS 232 kábel segítségével áttöltöttem a szoftverbe. Az áttöltés után a mért adatok a szoftverben kijelölt pontokhoz adódnak.

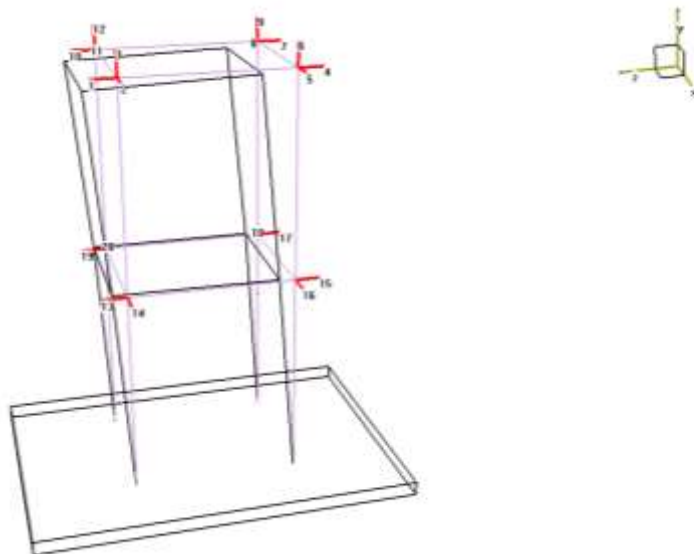
6.4. A mozgás animációs mérési eredmények értékelése

A szoftverbe betöltött mérési eredmények után egy 3 dimenziós mozgó animációt kapunk, amely bármely irányban forgatható, a jobb láthatóság érdekében nagyítható. Lehetőségünk van az animáció megállítására, ez azért fontos, mert a szélső helyzetekben történő változásokat így képként tudjuk rögzíteni. A modell egy egyszerűsített modell, mivel nekünk a vázszerkezet mozgása a fontos. Dolgozatomban az animáció megjelenítése nem lehetséges, éppen ezért a szélső helyzeteket kimerevítettem és képként beillesztettem, így a mérés kiértékelés érthetőbb.



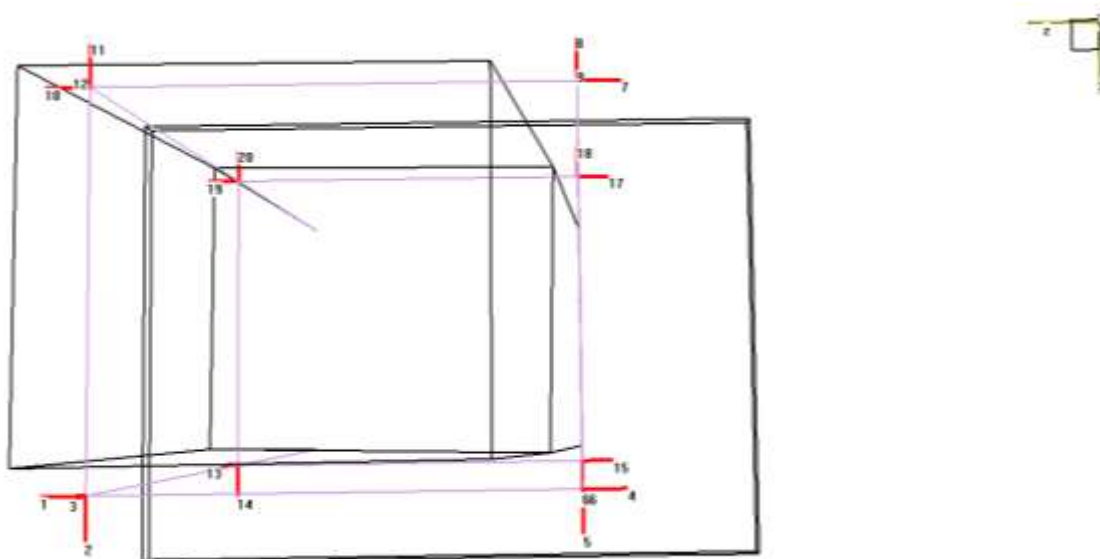
6.4.ábra A modell mozgása terhelés mentes állapotban

A képen a szerkezet terhelés mentes állapotban látható. A következőkben az animáció mozgását ehhez képest tudjuk viszonyítani, hogy az eredeti állapothoz képest mekkora a kitérés.



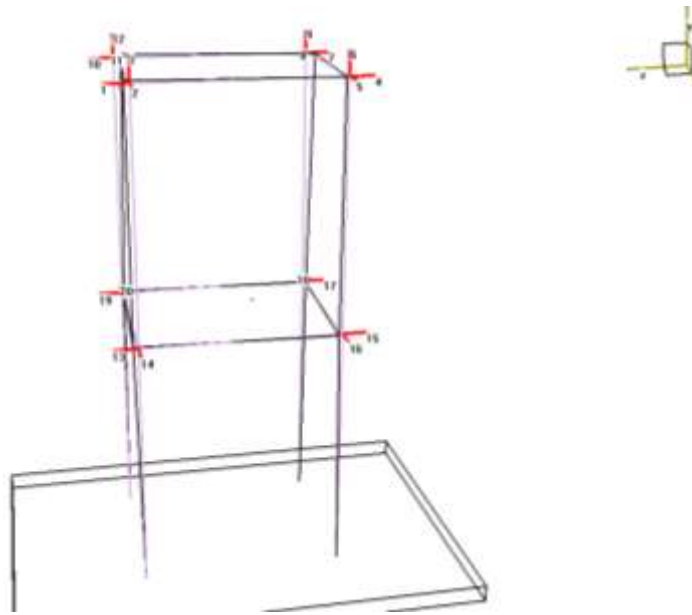
6.5.ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 5g 0 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, oldalnézetből

Az 6.5 –ös ábrán látható, hogy 5g tömeg is milyen kiegyensúlyozatlanságot illetve milyen vázszerkezet mozgást eredményez.



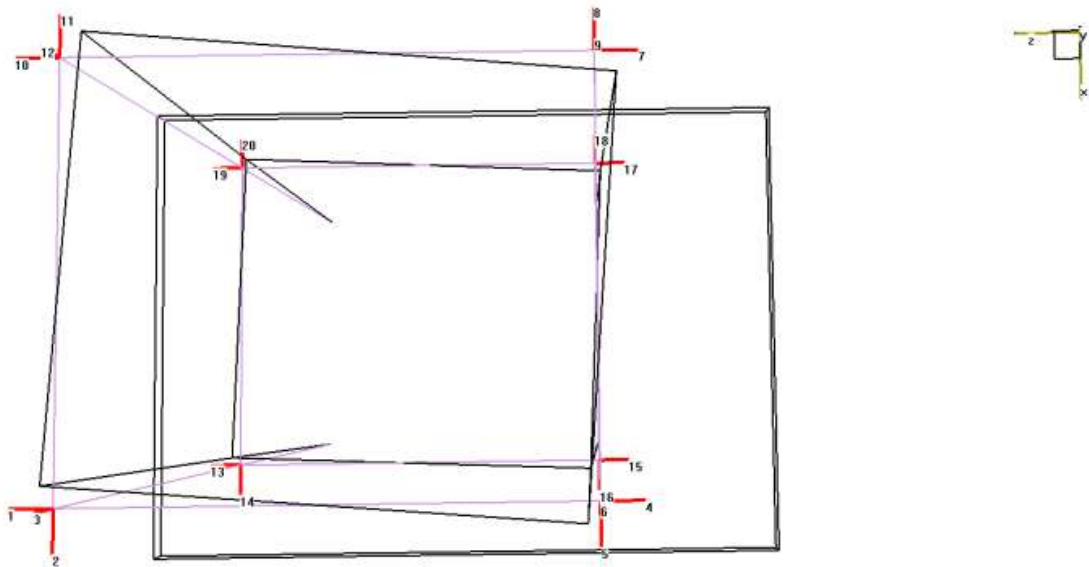
6.6.ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 5g 0 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvenciánál, felülnézetből

Az 6.6-os ábra is bizonyítja, hogy 5g hatására is, nagy kitérés következik be. Az eredeti állapot a lila vonal. A felülnézeti kép jól tükrözi az y irányban való elmozdulást, szinte duplája az x irányban történő elmozdulásnak.



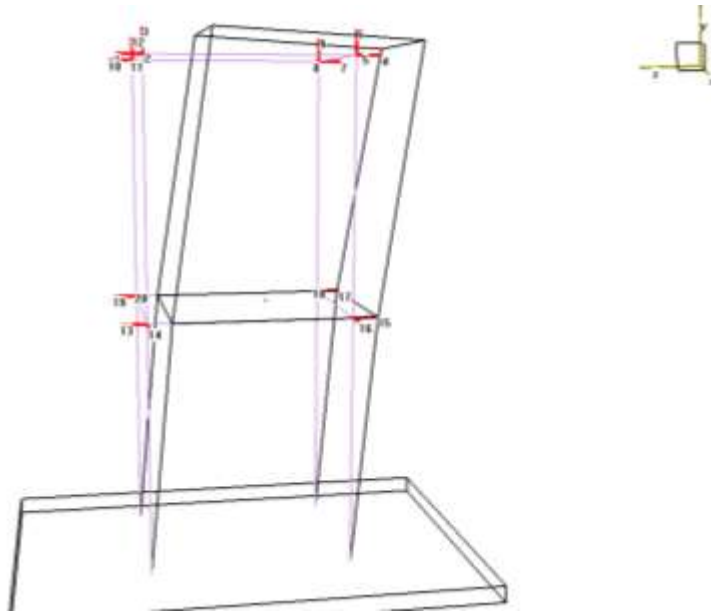
6.7.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 5 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, oldalnézetből

Az 6.7-es ábrán alig látunk elváltozást az eredetihez képest, ennek az oka, hogy a vízszintes mozgások a 180°-os elrendezés következtében átmennek csavaró mozgásba.



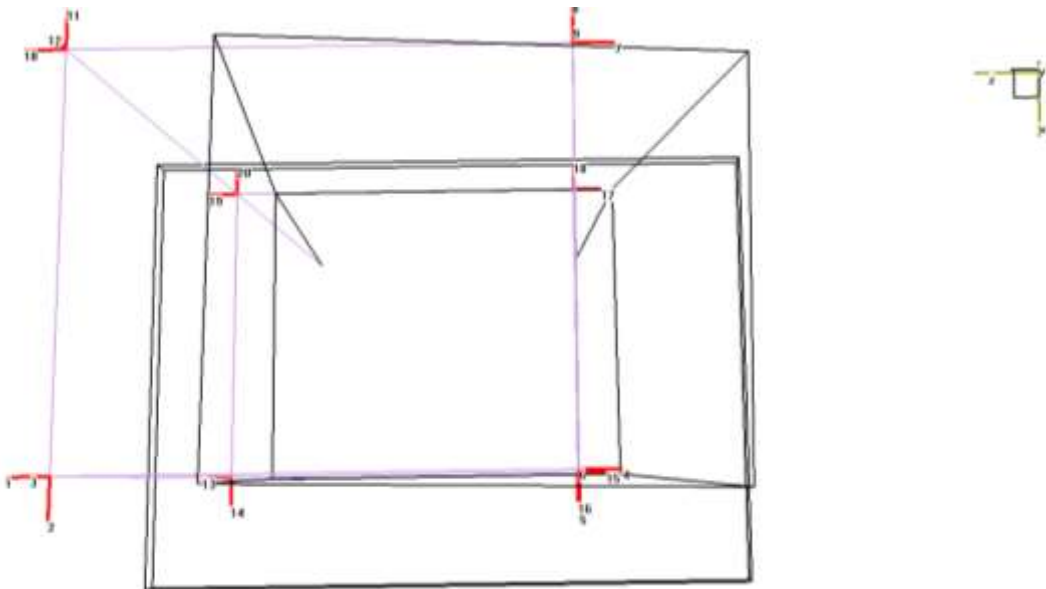
6.8.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 5 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, felülnézetből

Az 6.8-as ábra már jól szemlélteti az általam említett csavaró mozgást a vázszerkezet középpontja körül.



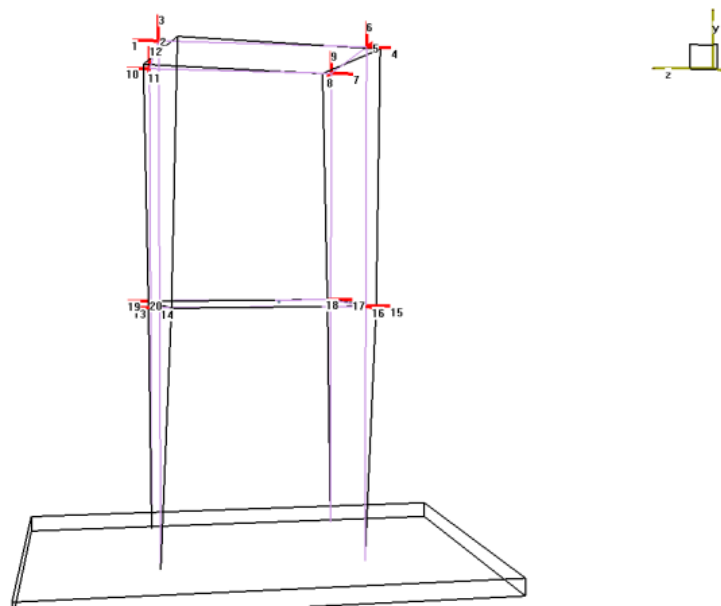
6.9.ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 10 g 0 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, oldalnézetből

A következő mérésünket ugyanúgy 20Hz-en végeztük, de a kiegyensúlyozatlanságot okozó tömeget megnöveltük a duplájára, 10g-ra. A szerkezet mozgásának kitérése megnövekszik, szinte a duplájára nő.



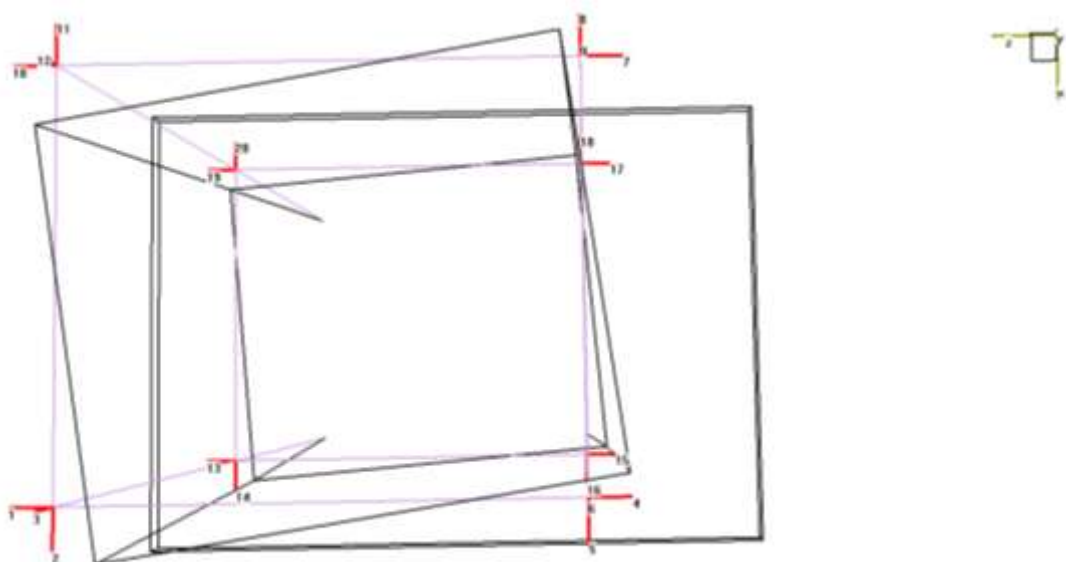
6.10.ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 10 g 0 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián felülnézetből

Az 6.10-es ábrán észrevehető, hogy a kitérések nagysága y irányban megsokszorozódott az ugyanezen a frekvencián, 5g próbatömeggel végzett méréshez képest.



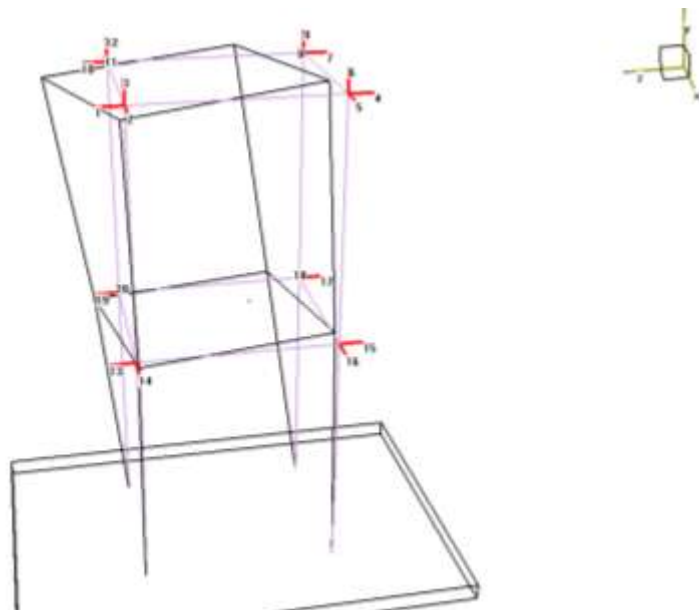
6.11.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 10 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, oldalnézetből

Jól mutatja az 6.11-es ábra azt, hogy függőleges irányú mozgás nincs 180°-os elrendezésnél, de viszont a csavaró erő a centrifugális erő megnövekedése miatt felerősödött.



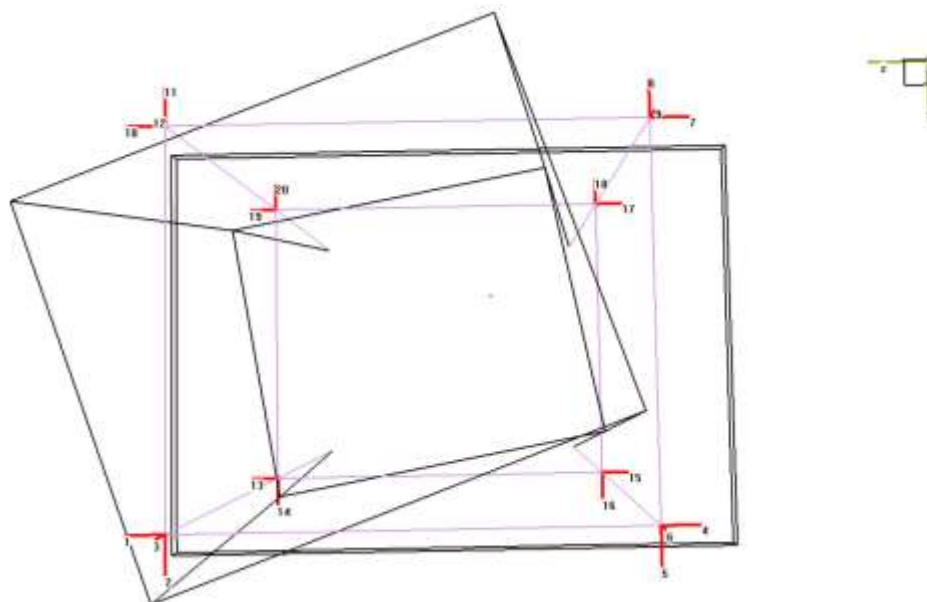
6.12.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 20Hz-en, 10 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, felülnézetből

A felülnézeti képen jobban látható a csavaró mozgás ami a centrifugális erő következtében jön létre, az általunk felhelyezett próbatömegek hatására.



6.13.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 25Hz-en, 10 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián oldalnézetből

A következő mérésnél a fordulatot megnöveltem 25Hz-re a próbatömegek ugyanúgy 10g-osak maradtak. Ennek eredménye a nagyobb csavaró erő és már a szerkezetünk lazaságai is jobban láthatók.



6.14.ábra ábra A modell mozgásának maximális kitérése 25Hz-en, 10 g 180 fokos tömegelrendezésnél és 1x-es forgási frekvencián, felülnézetből

A felülnézeti képen már nagyon jól kivehető, hogy a szerkezetünk egyik lába körül kezdődik a csavarodás. A kitérések az első mérésünkhöz képest megsokszorozódtak.

6.5. Megállapítások, a mérési eredmények értékelése

- A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a mozgás-animációs diagnosztikai módszer az a mechanikai rezgéseket és az üzem közbeni elmozdulásokat jól szemlélteti.
- Az elmozdulás és a rezgések erőssége kiolvasható a mérés adataiból, de konkrét mm/s-ban mért rezgéssebességen felül az adja a legfontosabb információt, hogy a modell összes pontjának a mozgását egyszerre láthatjuk.
- Az 6.4-es ábrán, ahol a mérésünket terhelésmentes állapotban végeztük, azért nem látszanak a mozgások az animáción, mert olyan kicsi amplitúdóval rendelkeznek, amely még a mozgás- animáción sem tűnethető fel. Itt a mért értékek még megfelelőek.
- Megállapíthatom, hogy az általunk felhelyezett próba tömeg ami az első esetben 5g, kiegyensúlyozatlanságot okoz. Mivel itt a kiegyensúlyozatlanságot okozó tömegeket egymáshoz képest 0° -ra helyeztem el ez un.statikus kiegyensúlyozatlanságnak felel meg, ezért a váz csavaró mozgása nem jelentkezik. Az y irányban mért, azaz a forgástengelyre merőlegesen mért mozgások lesznek számottevőek. Függőleges irányban a mozgás amplitúdója a vízszintes irányban mértnek a töredéke. Ezt a mozgást jól tükrözi az 6.5-ös és az 6.6-os kimerevített kép.
- A tárcsára egymáshoz képest 180° -ra felhelyezett próbatömegek oldalirányban nyomatékot fejtenek ki a vázszerkezetre, amelyek csavaró lengéseket okoznak a keretszerkezet hossz tengelye körül ez a gyakorlatban az un. nyomaték kiegyensúlyozatlanság állapotának felel meg. Az 6.7-es és az 6.8-as képen jól látható a csavarodás és az ábrák azt is jól szemléltetik, hogy függőleges irányban nincs kimozdulás mivel a modul a Wibroshow próbapad alaplapjához le van csavarozva. Vízszintes irányban a nagy erőkar miatt a szerkezet képes a kilengésre.
- A tömegnövelés hatására az amplitudó nagysága megnövekedett, hiszen a nagyobb centrifugális erőhatás miatt nagyobb erők hatnak a szerkezetre. Ez jól látható a 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 –es ábrákon.
- Fordulatszám hatása a modell mozgásában úgy jelentkezik, hogy ugyanaz a tömeg a magasabb fordulatszámon nagyobb centrifugális erőt hoz létre. Ezt a jelenséget a mozgás animációs modell mozgásában egyértelműen meg lehet figyelni, amint ezt a 6.13-as és a 6.14-es ábra is mutatja. Az ábrákon megfigyelhető, hogy a fordulatszám 20Hz-ről 25Hz-re történő növelésével az amplitúdók nagysága jelentősen

megnövekedett. Magasabb fordulatszámot azért nem tudtam kipróbálni mert jelentősen igénybe veszi a vizsgálat tárgyát képző modult. Magasabb fordulatszámon szemmel látható, veszélyes elcsavarodás jelentkezett.

- További kísérletek esetén javaslom a vázszerkezet Andrásskereszttel való merevítését. Ez lehetőséget teremt arra, hogy a vázszerkezet tönkremenetelét elkerüljük.

Összefoglalás

TDK dolgozatomban témájaként a megelőző karbantartás egyik leghatékonyabb módszerének a rezgésmérésnek mozgás animációs vizsgálatát választottam. A gépek megbízható működésének megítélésében a rezgésdiagnosztikán belül is speciális módszernek számít ez a vizsgálati módszer. Alkalmazásával láthatóvá válik a berendezés pontjainak valóságos mozgása, melynek segítségével a gép meghibásodására utaló mozgások tanulmányozhatók.

A dolgozatomban első részében a diagnosztika szerepét és jelentőségét mutattam be. A második és harmadik fejezetben a méréseimhez szükséges elméleti alapokat ismerttettem. A dolgozatomban további részében a mozgás animációs modul bemutatásával és tervezésével foglalkozom. Ezt követően a mérés leírását ismerttettem és a mérési eredményeket bemutatom és kiértékelem. Célom ezzel a TDK dolgozattal az, hogy az általam készített demonstrációs modul a Wibroshow próbapadhoz, az oktatásban, az elkövetkezendő években a hallgatók számára könnyebben érthetővé és egyszerűbben szemléltethetővé tegye a valóságban is igen gyakran fellépő kiegyensúlyozatlanság okozta szerkezeti hibákat. A modult úgy terveztem, hogy továbbfejleszthető legyen más mérésekhez is. A mozgás animációs szoftver segítségével azon mérnökök illetve nem ebben a szakmában dolgozó emberek számára is láthatóvá válnak azok a mozgások amelyek eddig csak mérési adatként álltak rendelkezésre. Témaválasztásom azért esett a mozgás animációs vizsgálat szemléltetésére, mert a tanulmányaim során szerencsém volt belelátni a diagnosztika rejtjelmeibe és a diagnosztika ezen része keltette fel érdeklődésemet a legjobban. A tanulmányaim során sokszor tapasztaltam a gyakorlati képzés hiányosságát, ezért fontosnak tartottam, hogy a dolgozatomban segítségével hozzájáruljak az oktatásban előírt tananyag gyakorlati bemutatásában. A Mechatronikai és Autótechnikai Intézet Wibroshow próbapadjával összeilleszthető modult készítettem. A mért eredményeink alapján a mozgás-animációs szoftver segítségével megjeleníthetjük a valóságban is jelen lévő mozgásokat, a szoftverben előre elkészített modellen. A mérés előtti elvárásainkat a vázszerkezet mozgására vonatkozóan, a mérési eredmények jól tükrözik. Tehát a mozgás animációs vizsgálat hatékonysága a demonstrációs modul és a Wibroshow próbapad segítségével bizonyítható.

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Szabó József Zoltán – Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása, PhD Értekezés , Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
- [2] Dr. Dömötör Ferenc – A rezgésdiagnosztika elemei
SKF Svéd Golyóscsapágy Rt., Budaörs 1996
- [3] Easy Viber felhasználói kézikönyv ref. 71.
- [4] Vibshape Manual Használati utasítás, VMI AB, Norrköping, 2002
- [5] Dr. Kégl Tibor- Szabó József – Műszaki diagnosztika
BDMF főiskolai jegyzet, 1993.2.kiadás 2002
- [6] Dr. Holics László – Klasszikus fizika
- [7] Rahne Eric – Gépszerkezetek vizsgálata mozgás animációval
PIM Kft. Kiadványa 2004. [http://www.pim-kft.hu/szakmai anyagok](http://www.pim-kft.hu/szakmai_anyagok)
letöltés dátuma 2011.10.16.